

**MAASTON JA JUOKSUNOPEUDEN VAIKUTUKSET
ASKELMUUTTUJIIN SUUNNISTUSJUOKSUSUORITUKSESSA**

Jere Ahonen

Valmennus- ja testausoppi

Kandidaatin tutkielma

Kevät 2014

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Ohjaajat: Juha Ahtiainen ja Heikki Kyröläinen

TIIVISTELMÄ

Jere Ahonen (2014). Maaston ja juoksunopeuden vaikutukset askelmuuttujiin suunnistusjuoksusuorituksessa. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, Kandidaatin tutkielma, 55 s.

Johdanto. Suunnistuksessa sekä fyysinen että taidollinen elementti vaikuttavat lopputulokseen. Suunnistusjuoksusuorituksessa taas edetään maastoon viitoitettua reittiä pitkin. Suunnistusjuoksu eroaa tasamaan juoksusta maaston jatkuvan vaihtelun, maastopohjan esteiden sekä korkeuserojen myötä. Nämä tekijät vaikuttavat myös suunnistusjuoksutekniikkaan. Tässä tutkimuksessa selvitettiin suunnistusjuoksun askelmuuttujien vaihtelua maastonosien sekä juoksunopeuden mukaan.

Menetelmät. Tutkimukseen osallistui 10 miessuunnistajaa. Tutkimukset suoritettiin kahtena päivänä siten, että ensimmäinen päivä sisälsi antropometrisia mittauksia sekä suoran hapenottookykytestin juoksumatolla (VO_{2max} -testi). Yhdestä kahteen viikon kuluttua suoritettiin suunnistusjuoksumittaukset 3,3 km pituisella viitoitetulla suunnistusjuoksuradalla, joka oli jaettu viiteen maastonosaan (polku, alamäki, helppokulkuinen, raskas, ylämäki). Submaksimaalisessa suorituksessa (SJ_{submax}) intensiteetti oli 90 – 95 % VO_{2max} -testin anaerobisesta kynnyksestä. Maksimaalisessa suunnistusjuoksumittauksessa (SJ_{max}) rataa juostiin kaksi kierrosta kilpailunomaisesti. Sykettä sekä matkaa mitattiin GPS-sykemittarilla ja askelmuuttujia kiihtyvyyssantureilla. Tutkitut askelmuuttajat olivat askelpituus (SL), askeltiheys (SF), kontaktiaika (CT), vertikaalinen liike (VERT), maksimaalinen törmäysvoima (FCONT) ja askelkontaktin aikainen hidastuvuus (BRAK).

Tulokset. Askelpituus oli SJ_{max} :ssa keskimäärin $1,48 \pm 0,05$ m; askeltiheys $2,77 \pm 0,13$ Hz; kontaktiaika 215 ± 15 ms; vertikaalinen liike $11,3 \pm 1,4$ cm; maksimaalinen törmäysvoima 2553 ± 384 N ja askelkontaktin aikainen hidastuvuus $0,27 \pm 0,02$ m/s. Askelpituus vaihteli merkitsevästi kaikkien maastonosien välillä ($p < 0,01$) ja myös kontaktiajassa ($p < 0,01$) sekä maksimaalisessa törmäysvoimassa ($p < 0,001$) erot olivat merkitseviä lähes kaikkien maastonosien välillä. Vastaavasti askelpituus sekä maksimaalinen törmäysvoima kasvoivat tilastollisesti merkitsevästi SJ_{submax} :n ja SJ_{max} :n välillä koko radalla (SL: $p < 0,001$; FCONT: $p < 0,01$) sekä kaikissa maastonosissa ja askeltiheydessä sekä vertikaalisessa liikkeessä kasvu tapahtui koko radalla (SF: $p < 0,01$; VERT: $p < 0,05$) ja lähes kaikissa maastonosissa. Kontaktiajat taas lyhenivät SJ_{submax} :n ja SJ_{max} :n välillä koko radalla ($p < 0,001$) sekä lähes kaikissa maastonosissa.

Pohdinta ja johtopäätökset. Askelpituus, kontaktiaika ja maksimaalinen törmäysvoima vaihtelivat maastonosien nopeuserojen, eli kulkukelpoisuden ja raskauden mukaisesti, kun taas maastopohjan haastavuus näyttää rajoittavan askeltiheyttä. Vertikaalisessa liikkeessä ja askelkontaktin aikaisessa hidastuvuudessa korkeuserojen vaikutukset olivat selkeitä. Juoksunopeuden nosto perustuu erityisesti askelpituuden kasvuun ja myös maksimaalinen törmäysvoima kasvaa kaikissa maastonosissa nopeuden kasvaessa ja siten voimantuoton lisääntyessä. Askeltiheyden sekä kontaktiajan muutokset taas mukailevat toisiaan, joten askeltiheys todennäköisesti kasvaa kontaktiajan lyhenemisen myötä.

Avainsanat: suunnistusjuoksu, askelmuuttajat, juoksutekniikka

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	4
2 KIRJALLISUUSKATSAUS	5
2.1 Suunnistussuoritukseen vaikuttavat tekijät	5
2.1.1 Fysiologiset tekijät	5
2.1.2 Hermolihasjärjestelmän toiminta	9
2.1.3 Suunnistustaito	10
2.2 Askelmuuttajat suunnistusjuoksusuorituksessa	13
2.2.1 Askelmuuttajien erot rata- ja suunnistusjuoksun välillä	13
2.2.2 Suunnistusjuoksun askelmuuttujiin vaikuttavat tekijät.....	14
2.3 Askelmuuttajat kestävyysjuoksusuorituksessa	15
2.3.1 Askelmuuttajien yhteydet kestävyysjuoksusuoritukseen.....	15
2.3.2 Askelmuuttajien yhteydet juoksun taloudellisuuteen	18
2.3.3 Väsymyksen vaikutus askelmuuttujiin.....	18
3 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT	21
4 TUTKIMUSMENETELMÄT.....	23
4.1 Koehenkilöt.....	23
4.2 Koeasetelma	24
4.3 Aineiston keräys ja analysointi	25
4.4 Tilastolliset menetelmät	29
5 TULOKSET	30
5.1 Suunnistusjuoksusuorituksen intensiteetti	30

5.2	Askelmuuttujat eri maastonosissa.....	31
5.3	Askelmuuttujat eri juoksunopeuksilla.....	37
6	POHDINTA	42
7	LÄHTEET.....	51
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Suunnistus on monipuolinen kestävyysurheilulaji, joka haastaa urheilijaa fyysisen suorituksen lisäksi myös suunnistustaidon osalta, joten suunnistajan harjoittelussa on huomioitava kumpikin osa-alue. Lisäksi kilpailusuorituksessa psyykkisillä tekijöillä on suuri merkitys taidollisen suorituksen onnistumisen kannalta. (Kärkkäinen & Pääkkönen 1986, 11.) Suunnistussuorituksessa edetään kartan ja kompassin avulla maastoon sijoitettujen rastipisteiden kautta mahdollisimman nopeasti. Rastit on kierrettävä oikeassa järjestyksessä ja maastoon sekä kilpailukarttaan tutustuminen etukäteen on kielletty. (International Orienteering Federation 2014.)

Suunnistuksessa arvokilpailumatkoja ovat sprintti, keskimatka, pitkä matka sekä viesti. Kilpailusuoritusten kestot vaihtelevat sprintin 12 – 15 minuutista pitkän matkan 90 – 100 minuuttiin. Myös taidollisesti suorituksissa on suuria eroja, sillä sprintissä kilpaillaan useimmiten rakennetuilla kaupunki- ja puistoalueilla, kun taas keskimatka ja pitkä matka suoritetaan metsämaastossa. Sprinttisuunnistuksessa rastipisteet ovat pääosin selkeitä ja taidolliset vaatimukset perustuvat haastaviin reitinvalintoihin. Keskimatkalla taas vaaditaan jatkuvasti tarkkaa suunnistusta lyhyistä rastiväleistä ja tarkoista rastipisteistä johtuen. Pitkällä matkalla rytminvaihtokyky sekä reitinvalinnat korostuvat ja taidolliset haasteet vaihtelevat tyypillisesti suorituksen aikana. (International Orienteering Federation 2014.)

Tässä tutkimuksessa tutkittiin viitoitetulla reitillä tapahtuvan suunnistusjuoksusuorituksen askelmuuttujia sekä erityisesti niiden vaihtelua juoksualustaltaan ja fyysisiltä vaatimuksiltaan erilaisissa maastonosissa. Lisäksi selvitettiin askelmuuttujissa tapahtuvia muutoksia kahden eri juoksunopeuden välillä.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 Suunnistussuorituksen vaikuttavat tekijät

2.1.1 Fysiologiset tekijät

Suunnistussuorituksessa sekä maaston että suunnistustehtävien aiheuttamat haasteet vaikuttavat suorituksen intensiteettiin. Näin ollen vaikealla suunnistusradalla ja toisaalta myös vaikeakulkuisessa maastossa suorituksen intensiteetti on sykemittauksen perusteella matalampi kuin helppokulkuisessa ja suunnistuksellisesti helpossa maastossa. (Bird ym. 1993.) Vastaavasti suunnistussuorituksessa syketaso on todettu olevan matalampi kuin esimerkiksi maastojuoksussa tai vuorijuoksussa, joissa suoritus tapahtuu huomattavasti tasaisemmalla alustalla ja ilman suunnistustaidollisia haasteita (Creagh ym. 1998).

Pääsääntöisesti syke on suunnistussuorituksessa anaerobisen kynnyksen tasolla (Gjerset ym. 1997; Kärkkäinen 1986; Moser ym. 1995; Taini 2005). Kovatasoisilla suunnistajilla sykkeen vaihtelu on suorituksen aikana hyvin pientä (Bird ym. 2003) ja Kärkkäinen (1986) havaitsikin sykkeen vaihtelun korreloivan negatiivisesti etenemisnopeuden kanssa suunnistuksellisesti haastavilla alueilla. Eniten vaihtelua sykkeessä tapahtuu rastien läheisyydessä, koska rastityöskentely ja seuraavan rastivälin suunnittelu vaativat juoksuvauhdin hidastamista. Myös virheet laskevat sykettä pysähtelyn ja oikean sijainnin etsimisen myötä. (Bird ym. 1993.) Toisaalta harjoittelun myötä rastityöskentely voi kehittyä niin sujuvaksi, ettei sykkeessä havaita lainkaan muutosta rastin läheisyydessä (Kärkkäinen 1986).

Sykkeeseen tavoin myös hapenkulutusarvot viittaavat suunnistussuorituksen intensiteetin olevan lähellä anaerobisen kynnyksen tasoa, mutta hapenkulutuksen on havaittu vaihtelevan suorituksessa huomattavasti sykettä enemmän ja siten ilmentävän paremmin suorituksessa tapahtuvaa jatkuvaa intensiteetin vaihtelua. Vaikka hapenkulutuksessa tapahtuu jatkuvaa

vaihtelua, nousee suorituksen intensiteetti hapenkulutuservojen mukaan vain harvoin anaerobisen kynnyksen yläpuolelle ja useimmiten ylitykset ovat vain hetkellisiä. Nämä havainnot viittaavat siihen, että suunnistajat pyrkivät välttämään pitkiä, kovatehoisia osioita suoriutuksessaan. (Smekal ym. 2003.)

Smekalin ym. (2003) tutkimuksessa suunnistussuorituksen keskimääräiseksi hapenkulutukseksi mitattiin 56,4 ml/kg/min, mikä on melko lähellä Larssonin ym. (2002) mittaamaa 60 ml/kg/min. Kun tarkastellaan suunnistussuorituksen taloudellisuutta hapenkulutuksena kuljettua matkaa kohti, oli Larssonin ym. (2002) tutkimuksessa keskimääräinen taloudellisuus ruotsalaisilla huippusuunnistajilla 335 ml/kg/km. Jensen ym. (1999) taas raportoivat suunnistusjuoksun taloudellisuuden olevan viitoitetulla reitillä 305 ml/kg/km tanskalaisessa maastossa. Maaston haastavuudella näyttää olevan suuri merkitys taloudellisuuden kannalta, sillä Jensen ym. (1994) totesivat taloudellisuuden olevan tanskalaisilla eliittisuunnistajilla helppokulkuisessa maastossa 281 ml/kg/km, kun taas vaikeakulkuisessa maastossa vastaava arvo oli 351 ml/kg/km. Samassa tutkimuksessa mitattiin juoksun taloudellisuutta myös pollulla sekä juoksumatolla, joilla taloudellisuusarvot olivat 205 ml/kg/km ja 207 ml/kg/km, joten tasaiselta alustalta maastoon siirtyminen heikentää taloudellisuutta selvästi.

Syke- ja hapenkulutuservoista poiketen veren laktaattipitoisuus nousee suunnistussuorituksessa selvästi yli anaerobisen kynnyksen, joten aerobisen energiantuoton ohella myös anaerobisella energiantuotolla voidaan katsoa olevan suunnistussuorituksessa merkittävä rooli. Toisaalta korkeat laktaattipitoisuudet voivat johtua suurelta osin suunnistussuoritukselle tyypillisistä lyhyistä kovatehoisista osioista, jolloin laktaattipitoisuus hieman yliarvioisi suorituksen keskimääräistä intensiteettiä. (Smekal ym. 2003.) Runsaasti korkeuseroja sisältävän maaston onkin raportoitu nostavan laktaattipitoisuuksia normaalia korkeammaksi (Nivukoski 2006). Myös suuri aktiivisen lihassmassan määrä suunnistussuorituksessa saattaa osaltaan selittää korkeita veren laktaattipitoisuuksia (Kärkkäinen 1986). Dresel (1985) mittasi tutkimuksessaan veren laktaattipitoisuuksia eri maastonosissa ja havaitsi pitoisuuksien vaihtelevan sekä maaston juostavuuden että taidollisten haasteiden mukaan. Kyseisessä tutkimuksessa mitatut laktaattipitoisuuden arvot on esitetty taulukossa 1.

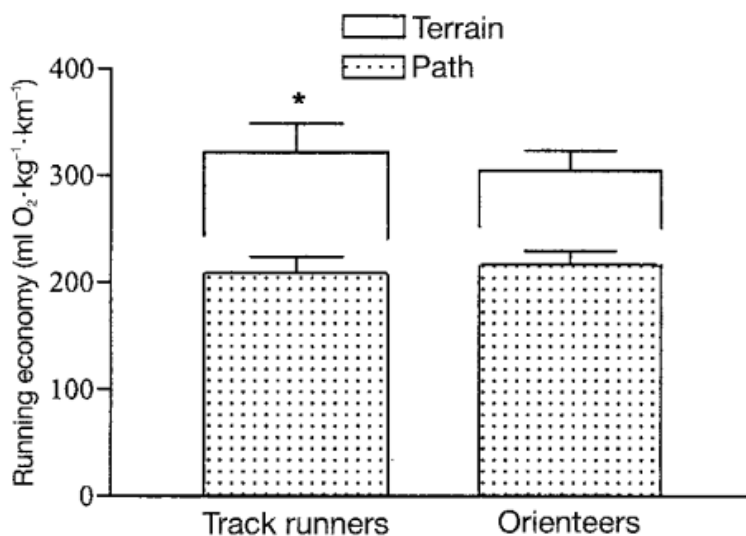
TAULUKKO 1. Veren laktaattipitoisuus eri maastonosissa juoksualustan sekä taidollisten haasteiden mukaan (Dresel 1985).

Maastonosa	Veren laktaattipitoisuus (mmol/l)
Taidollisesti helppo maasto	4,41 – 6,72
Taidollisesti vaativa maasto	3,57 – 4,60
Vaikeakulkuinen maasto	4,41
Raskas ylämäki	7,28

Kestävyys suorituskykyä selittävistä tekijöistä erityisesti anaerobisen kynnyksen suorituskyky sekä maksimaalinen hapenotto kyky korreloivat vahvasti suunnistussuorituksen kanssa ja ovat siten suunnistajalle hyvin tärkeitä ominaisuuksia (Gjerset ym. 1997; Larsson ym. 2002; Moser ym. 1995). Vastaavasti Held ja Müller (1997) raportoivat juoksumatolla mitattujen fysiologisten muuttujien korreloivan vahvasti suunnistusjuoksukyvyn kanssa erilaisissa maastonosissa alamäkeä lukuun ottamatta. Sen sijaan Kärkkäisen (1986) tutkimuksessa maantiejuoksun vauhti ei korreloinut suunnistusjuoksuvauhdin kanssa, minkä arvioitiin johtuvan lähinnä juoksuteknisistä eroista näiden välillä. Myös Tammelin (1995) totesi maksimaalisen juoksuvauhdin juoksumatolla olevan heikosti yhteydessä suunnistusjuoksukykyyn. Väisänen (2002) taas havaitsi juniori-ikäisillä pojilla kestävyysominaisuuksien korreloivan suunnistusjuoksukyvyn kanssa lähes kaikissa maastonosissa, kun taas miessuunnistajilla vastaavia korrelaatioita löytyi vain ylämäkiosuuden kohdalla. Tämän perusteella nuorilla suunnistajilla suunnistusjuoksusuoritus näyttää perustuvan enemmän kestävyysominaisuuksiin ja miehillä taas esimerkiksi voimaominaisuuksien hyödyntäminen saattaa olla suuremmissa roolissa.

Maksimaalinen hapenotto-kyky on yksi tärkeimmistä kestävyys- ja suorituskykyä selittävistä tekijöistä ja kansainvälisen tason maastohiihtäjillä sekä kestävyysjuoksijoilla on mitattu noin 80 – 90 ml/kg/min arvoja (Saltin & Åstrand 1967). Myös huippusuunnistajien maksimaalista hapenotto-kykyä on tutkittu useissa tutkimuksissa ja miehillä keskimääräiset arvot ovat noin 70 – 80 ml/kg/min, kun taas naisilla hapenotto-kyky jää hieman matalammiksi, noin 60 – 70 ml/kg/min tasolle (Gjerset ym. 1997; Held & Müller 1997; Moser ym. 1995; Rolf ym. 1997).

Maksimaalisen hapenotto-kyvyn ohella myös juoksun – ja erityisesti suunnistusjuoksun – taloudellisuus on suunnistajalle tärkeä ominaisuus, jonka kehittyminen vaatii lajinomaista harjoittelua maastossa. Suunnistajat pystyvätkin etenemään maastossa ratajuoksijoita taloudellisemmin, kun taas tasaisella polulla juostessa vastaavaa eroa ei ilmene. (Jensen ym. 1999.) Kyseinen ero ilmenee kuvasta 1. Vastaava ero suunnistusjuoksun taloudellisuudessa on havaittu myös eritasoisten suunnistajien välillä (Jensen ym. 1994), mikä edelleen korostaa juoksun taloudellisuuden merkitystä suunnistuksessa. Jensen ym. (1994) havaitsivat lisäksi taloudellisuuden korreloivan suunnistusjuoksukyvyn kanssa raskaassa maastossa.



KUVA 1. Juoksun taloudellisuus suunnistajilla sekä ratajuoksijoilla tasaisella polulla (pistepylväät) ja maastossa (valkoiset pylväät) (Jensen ym. 1999).

2.1.2 Hermolihasjärjestelmän toiminta

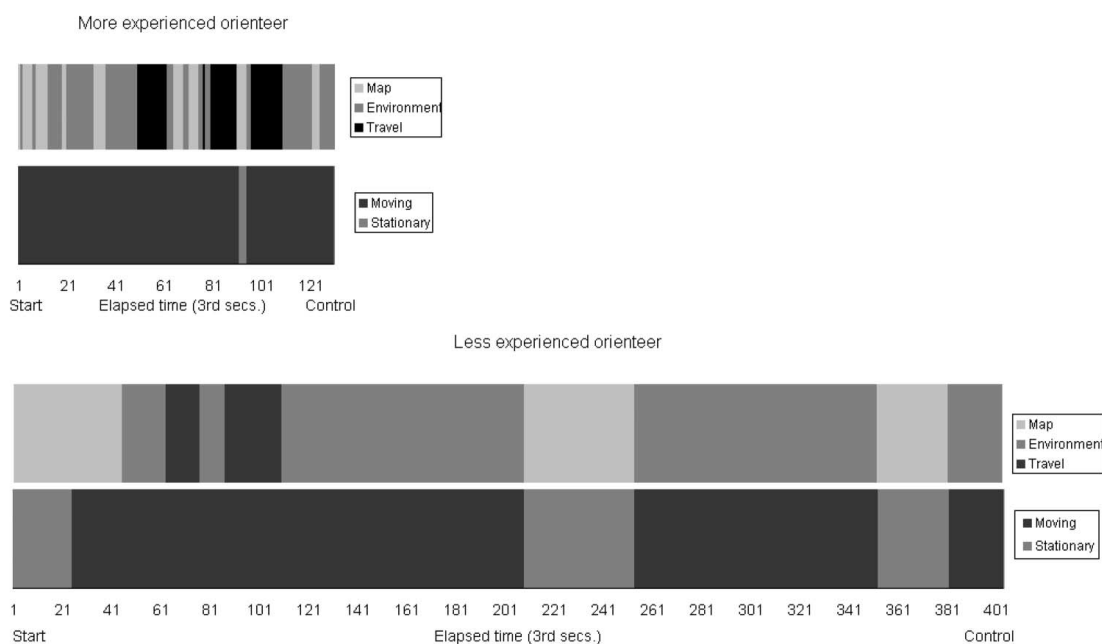
Maksimaalisen voimaharjoittelun yhdistäminen kestävyysharjoitteluun näyttää kehittävän hermolihasjärjestelmän toimintaa ja sitä kautta parantavan juoksun taloudellisuutta sekä kestävyysuorituskykyä (Støren ym. 2008). Samanlaisia vaikutuksia on havaittu myös nopeusvoimaharjoittelua sekä kiihdytyksiä ja hyppelyitä käsittävän räjähtävän voimaharjoittelun myötä (Paavolainen ym. 1999c). Kestävyysharjoitteluun yhdistetyn voimaharjoittelun on raportoitu kehittävän myös suunnistusjuoksukykyä ilman havaittavia muutoksia kestävyysmuuttujissa. Voimaharjoittelun vaikutukset näkyvät erityisesti ylämäkiosuuksilla sekä suorituksen loppuosassa, joissa kehittyneiden voimaominaisuuksien hyödyntäminen näyttää siis olevan tehokkainta. (Lusa & Lonka 1988.)

Väisänen (2002) tutki suunnistajien voimaominaisuuksien yhteyksiä suunnistusjuoksukykyyn ja havaitsi voimakestävyuden olevan tärkeässä roolissa suunnistusjuoksukyvyn kannalta. Hyvillä suunnistusjuoksijoilla siis sekä maksimi- että nopeusvoiman heikentyminen

väsytyksen myötä oli vähäistä. Absoluuttisista voimaominaisuuksista taas parhaiten suunnistusjuoksukyvyn kanssa korreloivat nopeusvoimaominaisuudet, kun taas alaraajojen isometrinen maksimivoima ei näytä olevan yhteydessä suunnistusjuoksukykyyn. Väisänen (2002) havaitsi myös mies- ja poikasuunnistajien välillä eroja voimaominaisuuksissa. Pojilla voimantuotto isometrisessä jalkadynamometrissa oli nopeampaa, mutta toisaalta miehet saavuttivat kevennyshypyssä suuremman nousukorkeuden. Vastaava ero kevennyshypyn nousukorkeudessa on havaittu myös mies- ja naissuunnistajien välillä (Truhponen 2013). Sukupuolten sekä ikäryhmien välisten erojen lisäksi myös yksilölliset erot voimaominaisuuksissa ovat suunnistajilla suuria (Väisänen 2002).

2.1.3 Suunnistustaito

Suunnistussuoritus perustuu etenemiseen kartalta luettavan informaation avulla, joten suunnistustaidolla on todella suuri merkitys suorituksessa. Suunnistustaito kehittyy harjoittelun myötä, mikä näkyy muun muassa kartanlukutaitojen eroissa aloittelevien ja kokeneiden suunnistajien välillä. Kokeneet suunnistajat lukevat karttaa pääasiassa juostessaan, kun taas aloittelevien suunnistajien on usein pysähdyttävä kartanluvun ajaksi, kuten kuvassa 2 on esitetty. Vastaavasti kokeneilla suunnistajilla kartanlukukerrat ovat lyhyempiä, koska kartan informaation ymmärtäminen nopeutuu harjoittelun myötä. (Eccles ym. 2006.) Myös kartalta luetun informaation muistaminen kehittyy suunnistustaidon harjoittelun myötä, mikä vähentää kartanluvun tarvetta ja tarjoaa siten lisää aikaa muun muassa maaston havainnoinnille (Nikulainen ym. 1995, 3-9). Kilpasuunnistajien on lisäksi todettu kykenevän ratkaisemaan psyykkisiä tehtäviä suunnistussuoritusta vastaavassa fyysisessä kuormituksessa, mikä myös korostaa suunnistusharjoittelun myötä kehittyviä taidollisia ominaisuuksia (Mero & Rusko 1987).



KUVA 2. Kokeneen (yläkuva) ja aloittelevan suunnistajan (alakuva) suunnistustoiminnot ja eteneminen rastivälin aikana (Eccles ym. 2006).

Kilpasuunnistajilla kuluu virheettömän suunnistussuorituksen kokonaisajasta noin 10 – 15 % erilaisiin suunnistustoimintoihin (Gjerset ym. 1997; Moser ym. 1995; Väisänen 2002). Suunnistustoimintojen määrää kuvaavat hyvin Kärkkäisen (1986) havainnot, joiden mukaan suunnistustoimintoja tehtiin keskimäärin 5,9 kertaa minuutissa ja niihin kulunut aika oli 8,7 s/min, mikä vastaa 14,5 % suorituksen kokonaisajasta. Juuri suunnistustoiminnot muodostavat eron suunnistussuorituksen ja suunnistusjuoksusuorituksen välille, sillä suunnistussuorituksessa esimerkiksi kartanluku ja reitinvalinnat vaativat juoksunopeuden hidastamista (Moser ym. 1995). On kuitenkin huomioitava, että suunnistustoimintojen toteuttamisessa yksilölliset erot ovat suuria, koska jokaiselle suunnistajalle kehittyy harjoittelun myötä oma tapansa toteuttaa suunnistustoimintoja suorituksen aikana (Kärkkäinen 1986).

Suunnistustoimintojen tehokkuus kehittyy harjoitteluvuosien myötä, mikä näkyy esimerkiksi erona suunnistustoimintoihin käytetyssä ajassa miesten ja juniori-ikäisten poikien välillä (Väisänen 2002). Myös sukupuolten välillä on havaittu eroja suunnistustoiminnoissa, sillä

miehillä suunnistustoimintoihin kuluva aika on naisia pienempi (Gjerset ym. 1997; Moser ym. 1995). Miessuunnistajat näyttävät siis toteuttavan suunnistustoimintoja tehokkaammin, minkä lisäksi myös taitotasossa saattaa olla eroja sukupuolten välillä. (Gjerset ym. 1997). Miessuunnistajien suunnistustoimintojen tehokkuuteen viittaavat Nivukosken (2006) havainnot, joiden mukaan miesten eteneminen suunnistussuorituksessa on naisia ja junioreita suoraviivaisempaa, minkä lisäksi eroja syntyi myös rasteilta lähdettäessä. Nivukoski (2006) päätteli miessuunnistajien vauhdikkaan rastilta lähdön perustuvan sujuvaan rastinottoon, mikä mahdollistaa seuraavan rastivälin suunnittelun ennen rastille tuloa.

Kun suunnistustaitoa tarkastellaan yksityiskohtaisemmin, se voidaan jaotella perustaitoihin, toiminnan ohjaukseen sekä suorituksen hallintaan, jotka kaikki vaikuttavat toisiinsa suunnistussuorituksessa. Perustaitoihin luettava kartanluku ja kartan perusteella muodostettu kuva maastosta ovat sujuvan suunnistuksen kannalta välttämättömiä edellytyksiä. Perustaitoihin kuuluu lisäksi oleellisen tiedon oivaltaminen kartalta sekä kompassin ja muiden apuvälineiden käytön hallinta. Toiminnan ohjaus käsittää suunnistussuoritukseen kuuluvat ajatusprosessit, joiden avulla perustaitoja sovelletaan kuhunkin tilanteeseen sopivalla tavalla. Harjoittelun myötä toiminnan ohjaus automatisoituu niin, ettei suunnistajan tarvitse tietoisesti valita, kuinka perustaitoja tulisi erilaisissa tilanteissa soveltaa, vaan taidollinen toiminta suorituksen aikana pohjautuu niin sanottuihin sisäisiin malleihin. Vaikka taidollinen toiminta on kilpasuunnistajilla hyvin pitkälle automatisoitunutta, on suoritustaan kuitenkin pystyttävä ohjaamaan ja hallitsemaan tarvittaessa myös tietoisesti. Tätä tietoista ajatustoimintojen kontrollointia kutsutaan suorituksen hallinnaksi ja sen avulla taitava suunnistaja pystyy vaikkei kiinnostamaan suoritustasonsa omien taitojensa sallimissa rajoissa (Nikulainen ym. 1995, 1-1 – 1-2, 3-1, 4-1, 5-1.)

2.2 Askelmuuttajat suunnistusjuoksusuorituksessa

2.2.1 Askelmuuttajien erot rata- ja suunnistusjuoksun välillä

Suunnistusjuoksun askelpituudeksi on mitattu 0,90 – 1,45 m askeltiheyden ollessa 2,60 – 2,85 Hz kilpailuvauhtisessa suorituksessa eri maastonosissa (Havas 1989). Vastaavasti kestävyysjuoksijoilla ja triathlonisteilla 5000 m ratajuoksusuorituksen alussa askelpituuden on todettu olevan noin 1,6 – 1,7 m ja askeltiheyden 3,0 – 3,1 Hz (Girard ym. 2013; Nummela ym. 2008). Maksimaalisessa 20 m suorituksessa taas askelpituus nousi Nummelan ym. (2008) tutkimuksessa 1,95 m:iin ja askeltiheys 3,89 Hz:iin, mikä kuvastaa hyvin kestävyys- ja pikajuoksun eroja. Askelpituuden ja -tiheyden tavoin myös kontaktiajoissa on eroja rata- ja suunnistusjuoksun välillä. Havaksen (1989) tutkimuksessa kontaktiajat olivat suunnistusjuoksusuorituksessa 200 – 270 ms, kun taas Nummelan ym. (2008) ja Girardin ym. (2013) havaintojen mukaan askelkontaktin kesto on ratajuoksussa noin 190 – 210 ms. Havaksen (1989) tutkimuksessa mitatut askelmuuttajat eri maastonosissa kilpailuvauhtisessa suunnistusjuoksusuorituksessa on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Askelmuuttajat kilpailuvauhtisessa suunnistusjuoksusuorituksessa eri maastonosissa (Havas 1989).

Maastonosa	Nopeus (m/s)	Kontaktiaika (ms)	Askelpituus (m)	Askeltiheys (Hz)
Ylämäki	2,4	270	0,90	2,75
Alamäki	3,4	200	1,20	2,90
Normaali	3,7	230	1,35	2,70
Vaikeakulkuinen	3,7	240	1,40	2,60
Tie	4,2	210	1,45	2,85

Havas (1989) raportoi askelpituuden olevan maastossa 5 – 15 cm suurempi kuin tiejuoksussa samalla nopeudella. Askeltiheys taas oli maastossa pienempi kuin tiellä ja kontaktiajat olivat 0 – 20 ms pidempiä kuin tiejuoksussa samalla nopeudella. Lisäksi askelmuuttujien vaihtelun todettiin olevan suunnistusjuoksussa huomattavasti suurempaa kuin tiellä, mikä näkyy suurempina eroina sekä kontaktiajoissa että askeltiheydessä yksilöiden välillä. Myös yksittäisen suunnistajan kontaktiaikojen ja askeltiheyden vaihtelu kasvaa siirryttäessä tieltä maastoon. Suunnistusjuoksussa siis askelten välinen vaihtelu kasvaa, mutta myös juokstekniikan erot yksilöiden välillä korostuvat. Lisäksi askelmuuttujien vaihtelu voi johtua myös yksilöllisistä eroista voimantuotto-ominaisuuksissa.

2.2.2 Suunnistusjuoksun askelmuuttujiin vaikuttavat tekijät

Juoksunopeudella on suuri vaikutus suunnistusjuoksun askelpituuteen sekä kontaktiaikoihin. Askelpituuden on todettu kasvavan ja kontaktiaikojen lyhenevän nopeuden kasvun myötä. Toisaalta askeltiheyteen juoksunopeus ei näytä vaikuttavan yhtä selkeästi, sillä askeltiheys kasvoi juoksunopeuden kasvun myötä ainoastaan normaalimaastossa ja tiejuoksussa. Sen sijaan ala- ja ylämäessä sekä vaikeakulkuisessa maastossa askeltiheyden muutokset eivät selittyneet juoksunopeuden muutoksilla. Erityisesti juoksualustaltaan haastavissa maastoissa askelpituus näyttää siis olevan pääasiallinen keino juoksunopeuden kasvattamiseksi. (Havas 1989.)

Juoksunopeuden ohella myös maaston raskaus ja juoksualustan haastavuus vaikuttavat askelmuuttujiin. Kilpailuvauhtisessa suunnistusjuoksusuorituksessa askelpituuteen näyttävät vaikuttavan selkeimmin maaston korkeuserot, sillä ylämäessä askelpituus on lyhyempi kuin muissa maastonosissa. Vastaavasti ylämäessä kontaktiajat ovat pisimmät ja alamäessä taas lyhimmät. Askeltiheyden kohdalla maaston juostavuus korostuu korkeuseroja enemmän, sillä vaikeakulkuisessa maastossa askeltiheys on alamäkeä ja tiejuoksua pienempi, kun taas muiden maastonosien välillä askeltiheydessä ei ole eroja. (Havas 1989.)

Millet ym. (2010) tutkivat kartanluvun vaikutuksia suunnistajien askelmuuttujiin juoksumatolla ja havaitsivat muun muassa vertikaalisen liikkeen pienenevän, kontaktiajan ja askeltiheyden kasvavan sekä lentoajan lyhenevän kartanluvun aikana. Lisäksi muutosten havaittiin olevan kansainvälisen tason suunnistajilla muita suunnistajia voimakkaampia, mikä viittaisi siihen, että askelluksen muuttaminen kartanluvun ajaksi kehittyi suunnistusharjoittelun myötä. Näiden tulosten perusteella Millet ym. (2010) päättelivät suunnistajien muokkaavan askellustaan kartanluvun aikana pienentääkseen kartan heilumista ja siten parantaakseen sen luettavuutta. Tätä pyrkimystä puoltaa myös se, etteivät kognitiiviset tehtävät juoksun aikana vaikuttaneet askelmuuttujiin kartanluvun tavoin. Toisaalta on myös mahdollista, että kartan luettavuuden parantamisen ohella suunnistajat muuttavat askellustaan myös turvallisuussyistä, sillä karttaa luettaessa edessä olevaa maastoa ei ole mahdollista havainnoida normaaliin tapaan.

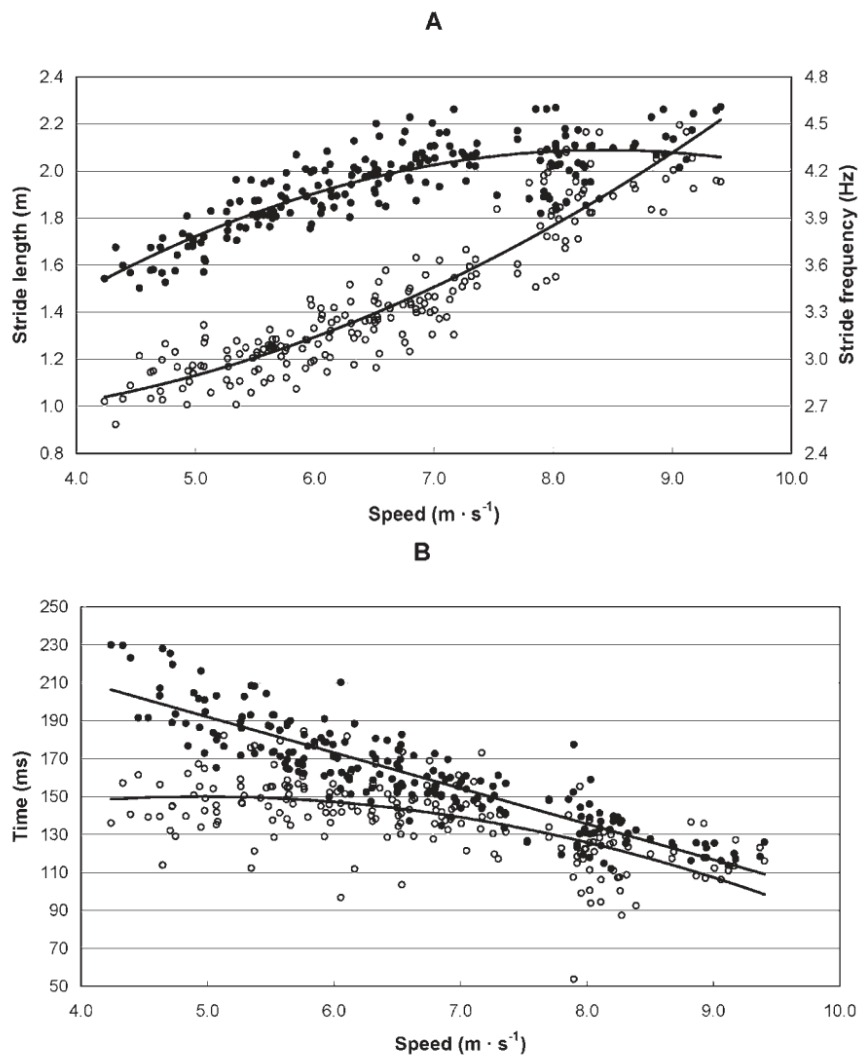
2.3 Askelmuuttajat kestävyysjuoksusuorituksessa

2.3.1 Askelmuuttajien yhteydet kestävyysjuoksusuoritukseen

Juoksunopeuden kasvaessa sekä askelpituus että -tiheys kasvavat, mutta lähestyttäessä maksiminopeutta askelpituuden kasvu pysähtyy ja nopeuden lisääminen tapahtuu vain askeltiheyttä kasvattamalla. Askelpituuden kasvu on yhteydessä tehollisen vertikaalisen voiman sekä horisontaalisen työntövoiman kasvuun. Askeltiheyden kasvu taas tapahtuu submaksimaalisilla nopeuksilla pääosin kontaktiajan lyhenemisen myötä, mutta maksimaalisilla juoksunopeuksilla myös lentoajan lyheneminen edesauttaa askeltiheyden kasvua. (Nummela ym. 2007.) Kuvassa 3 on esitetty askelmuuttajien muutoksia juoksunopeuden kasvaessa.

Kyröläinen ym. (2001) mittasivat askelmuuttajia eri juoksunopeuksilla keskimatkojen juoksijoilla ja raportoivat askelpituuden kasvavan 1,17 metristä 2,03 metriin juoksunopeuden kasvun (3,25 m/s – 8,30 m/s) myötä. Myös askeltiheys kasvoi (2,79 Hz – 4,09 Hz) ja kontaktiajat lyhenivät (227 ms – 115 ms) nopeuden kasvaessa. Lisäksi kontaktivoimien maksi-

miarvojen havaittiin kasvavan juoksunopeuden kasvun myötä sekä vertikaalisessa että horisontaalisessa suunnassa. Nummelan ym. (2007) tutkimuksessa askelmuuttujien muutokset juoksunopeuden kasvun myötä eri lajien kestävyysurheilijoilla olivat samaa luokkaa.



KUVA 3. Askelmuuttujien muutokset juoksunopeuden kasvaessa. Kuva A: askelpituuden (●) ja askeltiheyden (○) kasvu suhteessa nopeuden kasvuun. Kuva B: kontaktiajan (●) ja lentoajan (○) lyheneminen suhteessa nopeuden kasvuun (mukaeltu Nummela ym. 2007).

Lyhyiden kontaktiaikojen on todettu olevan yhteydessä suureen juoksunopeuteen 5000 metrin suorituksessa (Paavolainen ym. 1999b). Sama yhteys kontaktiaikojen ja juoksunopeuden välillä havaittiin myös 10 kilometrin juoksusuorituksessa Paavolaisen ym. (1999a) toisessa tutkimuksessa, jossa lisäksi todettiin kontaktiajan sekä erikseen jarrutus- ja työntövaiheen keston olevan kovatasoisilla juoksijoilla merkitsevästi lyhyempiä kuin heikommilla juoksijoilla. Myös askelpituuden on todettu olevan yhteydessä juoksunopeuteen 5000 metrin suorituksessa, mutta askeltiheyden ja juoksunopeuden välillä vastaavaa yhteyttä ei havaittu (Nummela ym. 2006). Kontaktivoimien osalta taas keskimääräisen horisontaalisen voiman on todettu olevan 10 kilometrin juoksusuorituksessa kovatasoisilla juoksijoilla matalampi kuin heikompiatasoisilla juoksijoilla, mutta toisaalta painoon suhteutetussa voimassa kyseistä eroa ei havaittu (Paavolainen ym. 1999a).

Nummela ym. (2007) tutkivat kestävyysurheilijoiden maksimaaliseen juoksunopeuteen vaikuttavia tekijöitä ja totesivat lyhyen kontaktiajan ja erityisesti lyhyen jarrutusajan olevan yhteydessä suureen maksiminopeuteen. Sen sijaan työntövaiheen keston ei havaittu olevan merkityksellinen juoksunopeuden kannalta. Samassa tutkimuksessa havaittiin myös painoon suhteutetun horisontaalisen voiman koko askelkontaktin aikana sekä erikseen työntövaiheen aikana korreloivan positiivisesti maksimaalisen juoksunopeuden kanssa, joten suuri eteenpäin suuntautuva voima lyhyessä ajassa näyttäisi olevan maksimaalisen juoksunopeuden kannalta tärkeää. Osittain vastaavia tuloksia saivat myös Paavolainen ym. (1999b), jotka raportoivat lyhyen kontaktiajan ja jarrutusvaiheen maksimaalisessa 20 metrin kiihdytyksessä ennustavan suurta juoksunopeutta 5000 metrin suorituksessa. Myös suuri askeltiheys 20 metrin kiihdytyksessä oli yhteydessä suureen juoksunopeuteen 5000 metrin suorituksessa. Paavolainen ym. (1999b) totesivatkin yhteenvetona nopean voimantuoton sekä submaksimaalisella että maksimaalisella juoksunopeudella olevan yhteydessä hyvään kestävyysjuoksusuoritukseen.

2.3.2 Askelmuuttujien yhteydet juoksun taloudellisuuteen

Juoksun taloudellisuuden kannalta paras askelpituuden ja -tiheyden yhdistelmä näyttää olevan jokaiselle juoksijalle yksilöllinen, eli elimistö tottuu juoksuharjoittelussa tavallisesti käytettyyn askellukseen ja näin ollen askelpituuden ja -tiheyden muuttaminen normaalista heikentää yleensä juoksun taloudellisuutta (McArdle ym. 2010, 216). Sen sijaan askelkontaktin osalta lyhyt kontaktiaika näyttää olevan hyödyllinen taloudellisuuden kannalta, koska lyhyen askelkontaktin myötä elastisen energian hyödyntäminen tehostuu (Nummela ym. 2007; Santos-Concejero ym. 2013). Nummela ym. (2007) totesivat erityisesti lyhyen jarrutusvaiheen olevan taloudellisen juoksun kannalta tärkeässä roolissa.

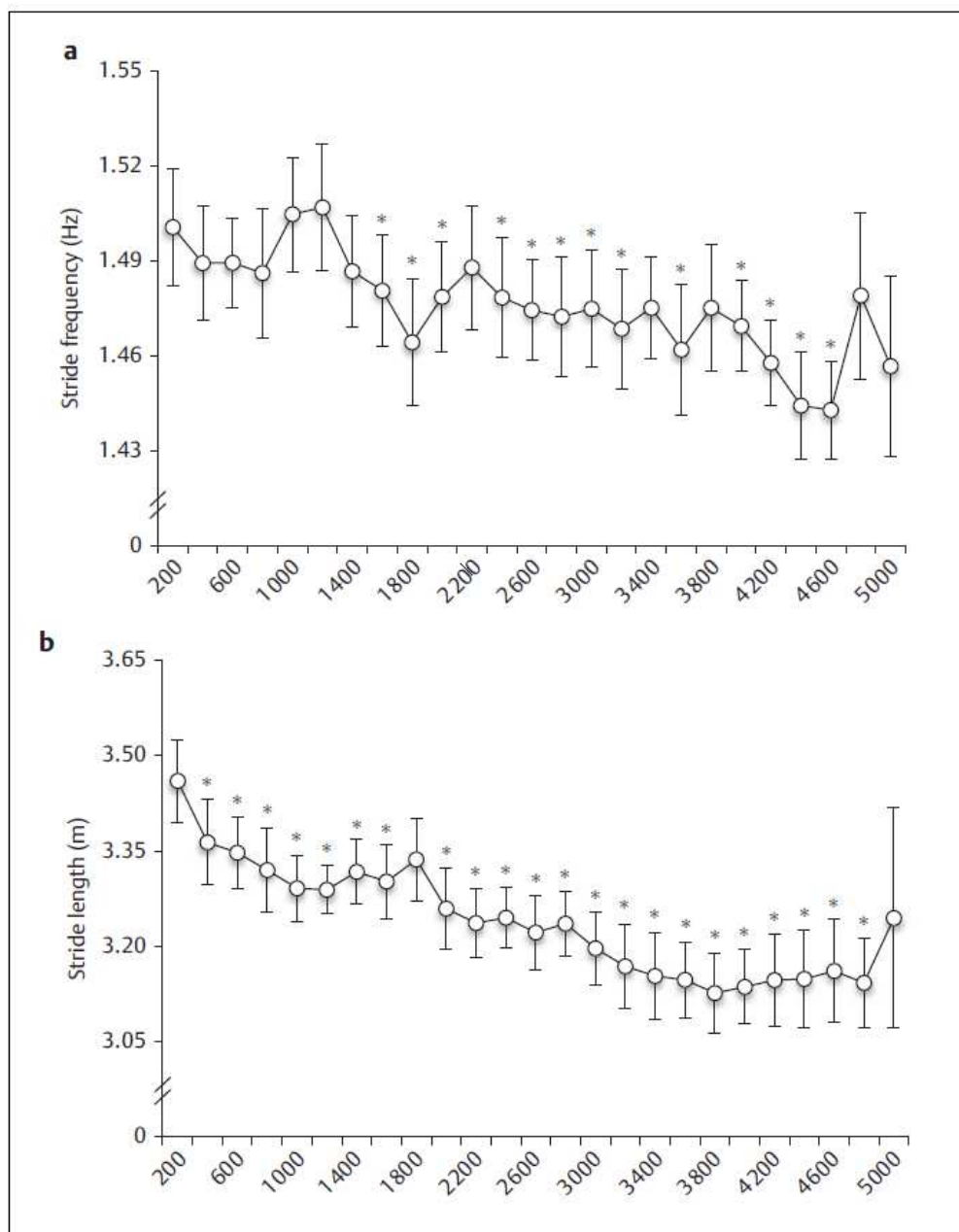
Askelkontaktin osalta myös suuren askelkulman on todettu olevan yhteydessä taloudelliseen juoksuun. Askelkulmalla tarkoitetaan tässä tapauksessa jalan heilahdusvaiheessa muodostaman kaaren tangentin ja maan välistä kulmaa, joka määräytyy pääosin askelpituuden ja -korkeuden mukaan. Suuren askelkulman taustalla on tehokas lantion, polven sekä nilkan koukistus, jotka samalla mahdollistavat myös suuren heilahdusajan ja lyhyen kontaktiajan. (Santos-Concejero ym. 2013.) Hyvin rullaava ja lähelle pakaraa nouseva askel näyttää siis Santos-Concejeron ym. (2013) tulosten mukaan olevan taloudellinen, mutta toisaalta vartalon massakeskipisteen vertikaalisuuntainen liike taas on taloudellisuuden kannalta haitallista (Heise & Martin 2001). Kyseisessä tutkimuksessa todettiin suuren vertikaalisen kokonais- ja nettoimpulssin olevan yhteydessä heikkoon taloudellisuuteen, koska suuret vertikaalisuuntaiset voimat aiheuttavat juoksuun ylimääräistä vertikaalista liikettä. Vertikaalisen liikkeen haitallisuuden havaitsivat myös Støren ym. (2011), jotka raportoivat lisäksi suuren jarrutusvoiman heikentävän juoksun taloudellisuutta.

2.3.3 Väsymyksen vaikutus askelmuuttujiin

Kestävyys suorituksessa väsymyksen myötä kontaktiajat pitenevät ja askelpituus lyhenee, jolloin myös juoksunopeus hidastuu (Nummela ym. 2008). Kyseisessä tutkimuksessa juoksunopeus putosi 5000 metrin suorituksen aikana 9,9 %, kontaktiajat kasvoivat 6,3 % ja as-

kelpitus laski 3,1 %. Askeltiheydessä ei sen sijaan havaittu muutoksia väsymyksen myötä. Girardin ym. (2013) tutkimuksessa juoksunopeuden muutos vastaavalla matkalla oli 11,6 %, kontaktiajat kasvoivat 8,9 % ja askelpituus laski 7,4 %. Nummelan ym. (2008) tuloksista poiketen Girard ym. (2013) havaitsivat myös askeltiheyden laskevan suorituksen aikana merkitsevästi (4,1 %). Askelpituuden ja -tiheyden muutokset väsymyksen myötä Girardin ym. (2013) tutkimuksessa on esitetty kuvassa 4. Toisaalta Paavolainen ym. (1999a) eivät havainneet kontaktiaikojen tai -voimien muuttuvan 10 kilometrin juoksusuorituksen aikana, mutta sen sijaan maksimaalisen 20 metrin kiihdytyksen kontaktiajat kasvoivat ja kontaktivoimat laskivat juoksusuorituksen jälkeen. Hermolihasjärjestelmässä tapahtui siis väsymistä 10 kilometrin juoksusuorituksen myötä, mutta väsymys ei näkynyt itse suorituksessa.

Girard ym. (2013) tutkivat askelmuuttujien lisäksi myös kontaktivoimien muutoksia väsymyksen myötä ja havaitsivat sekä jarrutus- että työntövaiheiden huippuvoimien laskevan suorituksen aikana 6,8 % ja 14,3 %. Myös vertikaalinen huippuvoima (F_{zmax}) laski suorituksen aikana 2,0 %, mutta massakeskipisteen vertikaalisessa liikkeessä ei siitä huolimatta havaittu merkitsevää muutosta. Näin ollen juoksun vertikaalinen jäykkyys (F_{zmax} / Δ_z) pieneni suorituksen loppua kohti 6,0 %, mutta toisaalta alaraajojen lihasjäykkyydessä (F_{zmax} / Δ_{leg}) ei havaittu merkitsevää muutosta, sillä alaraajojen kompressio (Δ_{leg}) askelkontaktin aikana pieneni väsymyksen myötä 4,3 %.



KUVA 4. Askeltiheyden (a) ja askelpituuden (b) muutokset 5000 metrin ratajuoksusuorituksessa triathlonisteilla (mukaeltu Girard ym. 2013).

3 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, millaisia eroja suunnistusjuoksusuorituksen askelmuuttujissa on eri maastonosien välillä. Lisäksi tutkittiin, tapahtuuko askelmuuttujissa muutoksia submaksimaalisen ja maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen välillä.

Tutkimusongelma 1: Onko suunnistusjuoksusuorituksen askelmuuttujissa eroja maastonosien välillä?

Havaksen (1989) havaintojen mukaan askelpituus on ylämäessä muita maastonosia lyhyempi ja vastaavasti askelkontakti muita maastonosia pidempi. Alamäessä taas askelkontaktin todettiin olevan lyhyempi kuin muissa maastonosissa. Lisäksi askeltiheyden havaittiin olevan vaikeakulkuisessa maastossa pienin.

Hypoteesi 1: Askelpituus on ylämäessä lyhyempi kuin muissa maastonosissa ja vastaavasti polulla ja alamäessä muita maastonosia pidempi. Askeltiheys taas on pienin raskaassa maastossa ja suurin polulla. Ylämäessä ja raskaassa maastossa kontaktiajat ovat pidemmät kuin muissa maastonosissa, kun taas polulla kontaktit ovat lyhimpiä. Askelkontaktin aikainen hidastuvuus on pienintä ylämäessä ja vastaavasti suurinta alamäessä. Vertikaalinen liike taas on suurinta alamäessä ja raskaassa maastossa ja pienintä ylämäessä. Myös maksimaalinen törmäysvoima on ylämäessä pienin ja alamäessä taas muita maastonosia suurempi.

Tutkimusongelma 2: Onko suunnistusjuoksusuorituksen askelmuuttujissa eroja submaksimaalisen ja maksimaalisen juoksunopeuden välillä?

Suunnistusjuoksussa askelpituuden on raportoitu kasvavan ja kontaktiajan lyhenevän juoksunopeuden kasvaessa. Myös askeltiheyden on todettu kasvavan juoksunopeuden kasvun myötä maastopohjaltaan hyväkulkuisissa maastonosissa. (Havas 1989). Vastaavasti ratajuoksussa askelpituuden sekä -tiheyden on havaittu kasvavan ja kontaktiaikojen lyhenevän

nopeuden kasvaessa. Lisäksi sekä horisontaalinen että vertikaalinen maksimaalinen törmäysvoima näyttävät kasvavan nopeuden kasvun myötä ratajuoksussa. (Kyröläinen ym. 2001.) Nummela ym. (2007) taas havaitsi sekä askelpituuden että -tiheyden kasvavan nopeuden kasvun myötä tiettyyn rajaan asti, minkä jälkeen nopeus kasvoi askeltiheyden nostamisen myötä.

Hypoteesi 2: Askelpituus kasvaa submaksimaalisen ja maksimaalisen suorituksen välillä kaikissa maastonosissa, kun taas askeltiheys kasvaa ja kontaktiajat lyhenevät erityisesti maastopohjaltaan helpoissa maastonosissa. Askelkontaktin aikaisessa hidastuvuudessa ei tapahdu muutoksia submaksimaalisen ja maksimaalisen suorituksen välillä. Vertikaalinen liike ja maksimaalinen törmäysvoima taas kasvavat tasaisesti kaikissa maastonosissa.

4 TUTKIMUSMENETELMÄT

4.1 Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistui 10 vapaaehtoista miessuunnistajaa, jotka olivat iältään 18 – 37 -vuotiaita. Koehenkilöt olivat Suomen kärkitasoa nuorten sarjoissa tai yleisessä sarjassa. Tarkemmat taustatiedot koehenkilöistä on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Koehenkilöiden taustatiedot (keskiarvo ja keskihajonta).

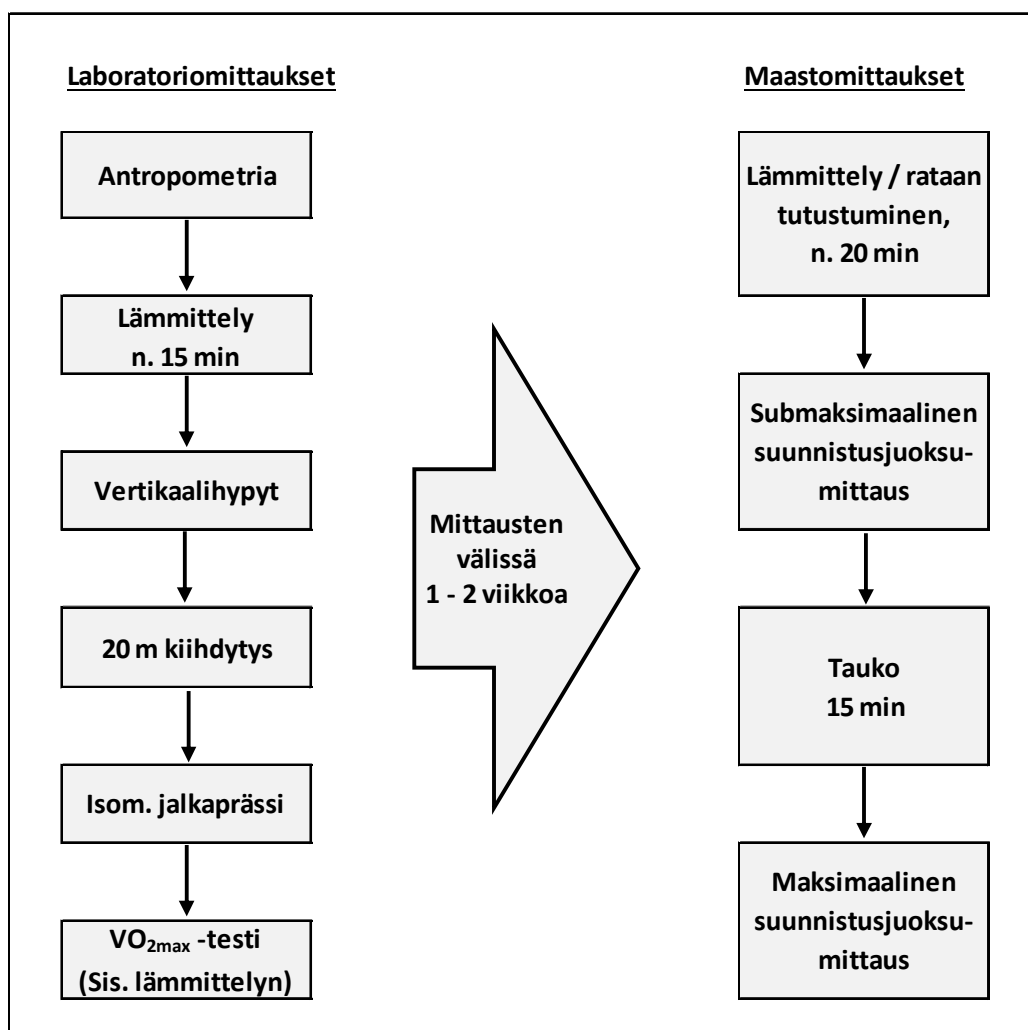
	Ikä (v)	Paino (kg)	Pituus (cm)	Rasvaprocentti (%)
Keskiarvo	26,8	66,9	181,1	12,0
Keskihajonta	7,1	6,3	5,4	1,3

Koehenkilöille lähetettiin ennen tutkimukseen osallistumista koehenkilötiedote, josta ilmeni tutkimuksen tarkoitus ja taustatiedot, tutkimuksessa suoritettavat mittaukset sekä tutkimuksen mahdolliset hyödyt ja haitat koehenkilöille. Koehenkilöt saivat myös ohjeet tutkimukseen valmistautumista varten. Lisäksi koehenkilöt allekirjoittivat ennen tutkimukseen osallistumista suostumuslomakkeen, jolla he antoivat luvan käyttää tuloksiaan tutkimuksen raportoinnissa ja samalla vakuuttivat osallistuvansa mittauksiin terveenä. Tutkimus sai Jyväskylän yliopiston eettiseltä lautakunnalta puoltavan lausunnon.

4.2 Koeasetelma

Tutkimuksen mittaukset suoritettiin elo- syyskuussa 2013 Jyväskylässä ja Jämsässä. Mittaukset suoritettiin kahtena erillisenä päivänä siten, että ensimmäisenä mittauspäivänä suoritettiin laboratoriomittauksia Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksen laboratoriossa ja noin 1 – 2 viikon kuluttua laboratoriomittauksista suoritettiin maastomittaukset Jämsässä Vangonmäen maastossa. Mittausjakso ajoittui kesän kansainvälisten arvokilpailuiden ja syksyn SM-kilpailujen väliin siten, että kilpailukausi oli yhä käynnissä, mutta kauden pääkilpailut eivät osuneet mittausten ajalle. Aikataulu- ja terveysongelmien takia muutaman koehenkilön maastomittaukset jouduttiin kuitenkin suorittamaan vasta syyskuussa SM-kilpailujen välissä.

Laboratorio- ja maastomittausten kulku on esitetty kuvassa 5. Koehenkilöitä ohjeistettiin välttämään kovatehoista harjoittelua mittauksia edeltävinä päivinä. Laboratoriomittaukset alkoivat antropometrisillä mittauksilla, joiden jälkeen koehenkilöt saivat lämmitellä ennen varsinaisia suorituskykymittauksia. Suorituskykymittauksissa tutkittiin koehenkilöiden voima- ja nopeusominaisuuksia, joita käytettiin samaan projektiin liittyvässä toisessa tutkimuksessa. Lopuksi suoritettiin maksimaalinen hapenottokykytesti juoksumatolla. Maastomittaukset taas alkoivat lämmittelyllä, jonka aikana tutustuttiin mittausrataan. Tämän jälkeen suoritettiin submaksimaalinen suunnistusjuoksumittaus ja lopuksi maksimaalinen suunnistusjuoksumittaus.



KUVA 5. Laboratorio- ja maastomittausten kulku.

4.3 Aineiston keräys ja analysointi

Laboriomittaukset. Antropometriset mittaukset käsittivät painon pituuden ja rasvaprosentin mittaamisen. Rasvaprosentti mitattiin ihopoimumenetelmällä käyttäen neljää mittauspistettä (lähde?). Mittaus toistettiin kolme kertaa ja tulos laskettiin kolmen mittauksen keskiarvojen perusteella. Antropometrinen mittauksen jälkeen koehenkilöt saivat lämmitellä juosten (noin 15 min) ja tämän jälkeen suoritettiin voima- ja nopeusmittauksia, jotka käsitti-

vät vertikaalihyppyä, 20 metrin kiihdytyksen sekä alaraajojen isometrisen maksimivoiman mittaamisen.

Voima- ja nopeusmittausten jälkeen suoritettiin suora hapenottokykytesti (VO_{2max} -testi) juoksumatolla. Testissä juostiin 8 – 10 x 3 minuuttia nousevalla kuormituksella uupumukseen asti. Nopeutta lisättiin kuormien välissä 1 km/h ja juoksumaton kulma oli koko testin ajan 1 °. Ensimmäisen kuorman nopeus oli koehenkilöstä riippuen joko 11 km/h tai 12 km/h. Jokaisen kuorman jälkeen juoksumatto pysäytettiin veren laktaattipitoisuuden mittaamisen ajaksi. Mittaamiseen kulunut aika sisältyi kuorman keston. Testiä jatkettiin, kunnes koehenkilö ei enää halunnut tai pystynyt jatkamaan. Ennen testiä koehenkilöt saivat lämmitellä ja totutella juoksumatolla juoksemiseen. Lisäksi heiltä mitattiin syke sekä veren laktaattipitoisuus levossa.

Hengityskaasuja mitattiin koko testin ajan hengityskaasuanalysointilaitteella (Oxycon Mobile, Jaeger, VIASYS Healthcare GmbH). Hengityskaasuista määritettiin ventilaatio, hapenkulutus, hiilidioksidin tuotto sekä hengitysosamäärä jokaisen kuorman viimeisen 30 sekunnin keskiarvoina. Lisäksi mitattiin sykettä (Polar RS800 tai Polar RC3 GPS, Polar Electro) jokaisen kuorman lopussa viimeisten 15 sekunnin keskiarvoina. Veren laktaattipitoisuus analysoidiin kuormien väleissä otetuista sormenpääverinäytteistä (Biosen C-line, EKF Diagnostic).

VO_{2max} -testin hengityskaasumuuttujien ja veren laktaattipitoisuuksien perusteella määritettiin koehenkilöille aerobinen ja anaerobinen kynnys Kuntotestauksen käsikirjan (Keskinen ym. 2007) ohjeiden mukaan. Testin maksiminopeudeksi määritettiin joko viimeisen loppuun asti suoritettun kuorman nopeus tai viimeisen loppuun asti suoritettun kuorman ja kesken jääneen kuorman juoksuajalla painotettu keskiarvo, joka laskettiin kaavalla

$$v_{n-1} + t_n/3 \text{ min} \times 1 \text{ km/h},$$

missä v_{n-1} = viimeisen loppuun asti suoritettun kuorman nopeus (km/h) ja t_n = kesken jääneen kuorman kesto (min). Maksimisyke määritettiin testin viimeisen 15 sekunnin keskiarvosykkeen perusteella. Maksimaalinen hapenottookyky oli suurin 30 sekunnin keskiarvotuksella saavutettu hapenkulutuksen arvo. VO_{2max} -testissä määritettyä anaerobista kynnyssykettä käytettiin maastomittausten submaksimaalisen mittauksen intensiteetin säätelyyn. Lisäksi testissä saavutettuja kynnyks- ja maksimiarvoja (syke, veren laktaattipitoisuus ja juoksunopeus) verrattiin maksimaalisen suunnistusjuoksumittauksen vastaaviin muuttujiin.

Maastomittaukset. Maastomittaukset suoritettiin 3,27 km pitkällä suunnistusjuoksuradalla, joka oli viitoitettu valkoisilla muovinauhoilla. Radan kartta on esitetty liitteessä 1. Rata koostui viidestä maastonosasta: polku, alamäki, helppokulkuinen maasto, raskas maasto ja ylämäki. Alueen maasto oli pääosin erittäin hyväkuluista mäntykangasta, jossa aluskasvillisuus oli vähäistä ja näkyvyys hyvä. Polkuosio koostui kovapohjaisesta pururadasta ja metsäautotiestä, joissa korkeuserot olivat pieniä. Polkujuoksua käytettiin tutkimuksessa tasamaan juoksua kuvaavana vertailuarvona, johon muita maastonosia verrattiin. Ala- ja ylämäki olivat melko jyrkkäpiirteisiä, mutta kuitenkin juostavia ja profiililtaan yhtäjaksoisia. Kummassakin maastopohja oli hyväkuluista. Myös helppokulkuisessa maastossa juostavuus oli hyvä ja alusta hieman kumpuilevaa, mutta pääosin tasaista kangasta. Raskas maasto taas poikkesi kasvillisuuden osalta selkeästi muista maastonosista, sillä se sisälsi varvikkoista ja melko kosteaa suota, alustaltaan vaihtelevaa kuusi- ja sekametsää sekä muutamia ojanylityksiä. Maastonosien pituudet ja korkeuserot on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Suunnistusjuoksuradan maastonosien pituudet ja korkeuserot.

	Polku	Alamäki	Helppo	Raskas	Ylämäki
Pituus (m)	920	360	1170	570	250
Korkeusero	± 5 m	- 30 m	± 5 m	± 5 m	+ 30 m

Koehenkilöt juoksivat suunnistusjuoksuradan läpi kertaalleen lämmittelyn aikana, jotta mittaussuorituksissa reitti olisi tuttu. Maastonosien vaihdokset oli merkitty maastoon rastilipuvin ja koehenkilöitä ohjeistettiin ottamaan väliaika aina maastonosan vaihtuessa. Maastonosien vaihdokset oli merkitty myös karttaan (rastit 1 – 4, liite 1), joka koehenkilöillä oli mukana mittaussuorituksissa. Suunnistusjuoksuosuorituksissa kerätystä datasta analysoitiin keskiarvot maastonosittain sekä koko suorituksen osalta. Lisäksi maksimaalisessa suunnistusjuoksumittauksessa analysoitiin myös kierroskohtaiset keskiarvot.

Kummassakin suunnistusjuoksumittauksessa matkaa, nopeutta ja sykettä mitattiin Polar RC3 GPS -sykemittarilla (Polar Electro), jossa on integroitu GPS-vastaanotin. Syke- ja GPS-data analysoitiin Polar Personal Trainer -sovelluksella sekä QuickRoute 2.4 -ohjelmalla. Askelmuuttujia taas mitattiin kiihtyvyyssantureilla (Runteq Oy), jotka kiinnitettiin vasempaan kenkään sekä rintaan sykemittarin pantaan. Askelmuuttujadataa kerättiin suoritusten aikana RunLab-älypuhelinsovelluksella bluetooth-teknologiaa hyödyntäen. Datat keräyksessä käytettyä puhelinta (Samsung Galaxy Trend) kuljetettiin suorituksissa erillisessä kotelossa vyötäröllä. Askelmuuttujadata analysoitiin Microsoft Office Excel 2010 -ohjelmalla. Tutkimuksessa mitatut askelmuuttujat olivat askelpituus (SL, stride length), askeltiheys (SF, stride frequency), kontaktiaika (CT, contact time), kehon massakeskipisteen vertikaalinen liike (VERT), maksimaalinen törmäysvoima askelkontaktin aikana (FCONT) sekä hidastuvuus askelkontaktin aikana (BRAK, braking). Välittömästi kummankin mittauksen jälkeen koehenkilöiltä mitattiin veren laktaattipitoisuus sormenpäpäverinäytteestä (Lactate Scout, EKF Diagnostic).

Submaksimaalisen mittauksen pituus oli 3,27 km (1 kierros) ja intensiteetti 90 – 95 % VO_{2max} -testissä määritetystä anaerobisesta kynnyssykkeestä. Koehenkilöt seurasivat intensiteettiä sykemittarin avulla ja heitä ohjeistettiin pitämään syketaso kyseisellä alueella koko suorituksen ajan. Suorituksessa mitattiin hengityskaasuja kannettavalla hengityskaasuanalysointorilla (Oxycon Mobile, Jaeger, VIASYS Healthcare GmbH). Hengityskaasujen avulla tutkittiin taloudellisuusmuuttujia samaan projektiin kuuluvassa toisessa tutkimuksessa.

Maksimaalinen suunnistusjuoksumittaus aloitettiin 15 minuuttia taloudellisuusmittauksen jälkeen ja se oli pituudeltaan 6,54 km (2 kierrosta). Suorituksessa tavoiteltiin mahdollisimman hyvää loppuaikaa ja koehenkilöt vastasivat itse vauhdinjoostaan.

4.4 Tilastolliset menetelmät

Tuloksista laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat Microsoft Office Excel 2010 -ohjelmalla. Tilastollisissa analyyseissä käytettiin IBM SPSS Statistics 20.0 -ohjelmaa (IBM Corporation). Muuttujien arvojen vaihtelua eri mittauspisteiden välillä tarkasteltiin verrannollisten parien t-testillä. Tilastollisen merkitsevyyden rajana tässä tutkimuksessa oli $p < 0,05$.

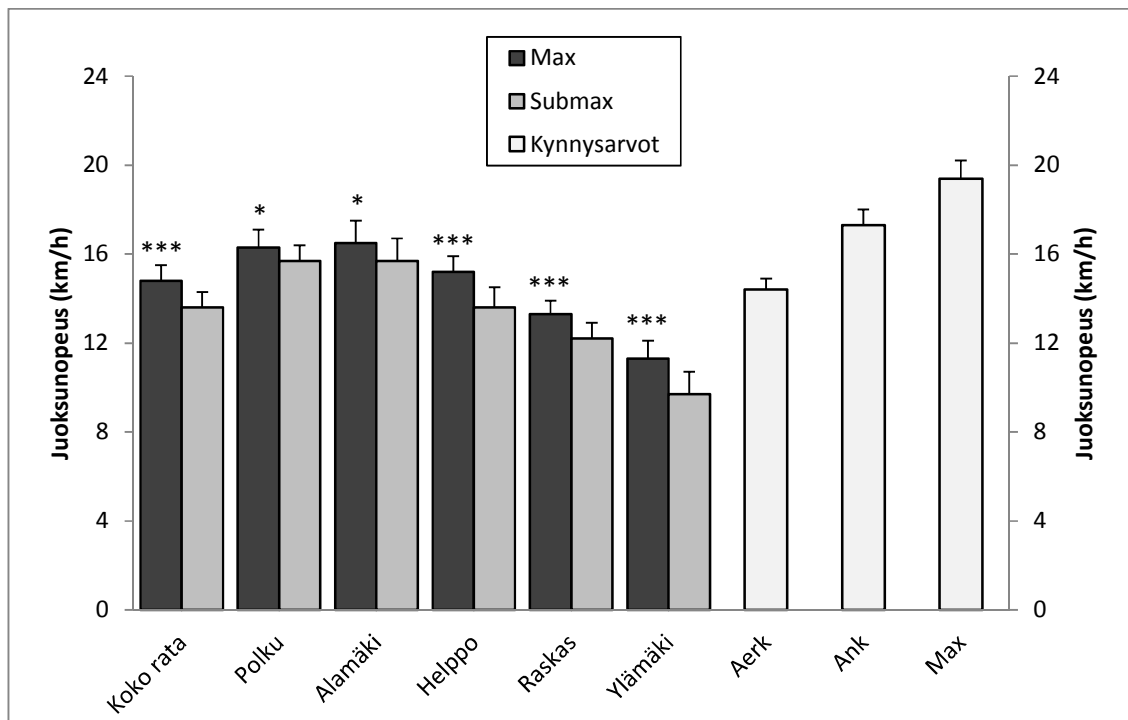
5 TULOKSET

5.1 Suunnistusjuoksusuorituksen intensiteetti

Syke ja veren laktaattipitoisuus maksimaalisessa sekä submaksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa on esitetty taulukossa 5. Vastaavasti kuvassa 6 on esitetty juoksunopeudet maksimaalisessa ja submaksimaalisessa suorituksessa. Submaksimaalisessa suorituksessa nopeus oli tilastollisesti merkitsevästi matalampi kuin maksimaalisessa suorituksessa koko radalla ja kaikissa maastonosissa (koko rata: $13,6 \pm 0,7$ km/h vs. $14,8 \pm 0,7$ km/h, $p < 0,001$; polku: $15,7 \pm 0,7$ km/h vs. $16,3 \pm 0,8$ km/h, $p = 0,028$; alamäki: $15,7 \pm 1,0$ km/h vs. $16,5 \pm 1,0$ km/h, $p = 0,021$; helppo: $13,6 \pm 0,9$ km/h vs. $15,2 \pm 0,7$ km/h, $p < 0,001$; raskas: $12,2 \pm 0,7$ km/h vs. $13,3 \pm 0,6$ km/h, $p < 0,001$; ylämäki: $9,7 \pm 1,0$ km/h vs. $11,3 \pm 0,8$ km/h, $p < 0,001$).

TAULUKKO 5. Syke ja veren laktaattipitoisuus maksimaalisessa ja submaksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa sekä VO_{2max} -testin kynnsarvot.

	Koko rata	Polku	Alamäki	Helppo	Raskas	Ylämäki	La (mmol/l)
Max	178 ± 9	176 ± 9	174 ± 9	180 ± 9	177 ± 9	181 ± 10	$6,90 \pm 4,05$
Submax	166 ± 7	155 ± 10	161 ± 11	165 ± 7	166 ± 9	168 ± 9	$1,88 \pm 1,47$
Aerk	159 ± 9						$1,36 \pm 0,40$
Ank	177 ± 7						$3,42 \pm 0,64$
VO_{2max}	189 ± 7						$8,71 \pm 2,11$



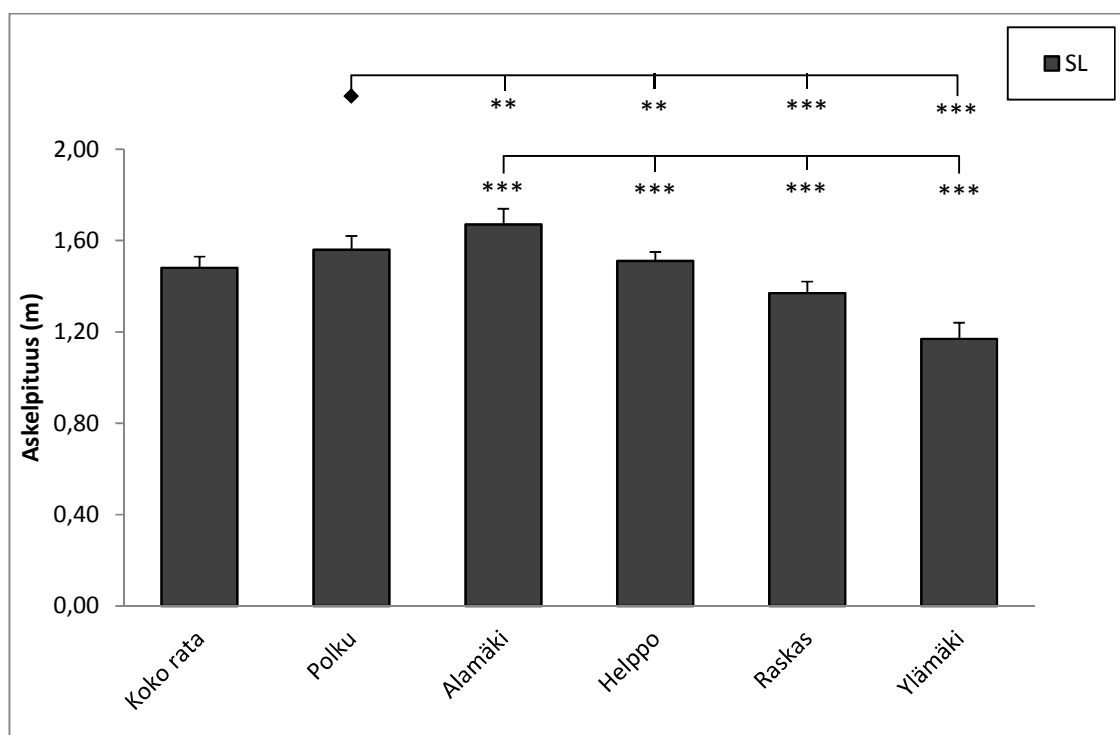
KUVA 6. Juoksunopeus maksimaalisessa ja submaksimaalisessa suunnistusjuoksuosuorituksessa eri maastonosissa sekä VO_{2max} -testin kynnysnopeudet. * = tilastollisesti merkitsevä ero submaksimaaliseen suoritukseen nähden ($p < 0,05$); *** = tilastollisesti merkitsevä ero submaksimaaliseen suoritukseen nähden ($p < 0,001$).

Maksimaalisessa suunnistusjuoksuosuorituksessa nopeus oli suurin alamäessä ja polulla, eikä nopeusero niiden välillä ollut merkitsevä. Ero kaikkiin muihin maastonosiin oli kuitenkin tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,001$). Ylämäki taas oli maastonosista hitain ja sen juoksunopeus oli merkitsevästi hitaampi kuin muissa maastonosissa ($p < 0,001$). Myös helppokulkuisen ja raskaan maaston välillä juoksunopeus erosi merkitsevästi ($p < 0,001$).

5.2 Askelmuuttujat eri maastonosissa

Askelpituus. Askelpituus oli maksimaalisessa suunnistusjuoksuosuorituksessa keskimäärin $1,48 \pm 0,05$ m. Alamäessä askelpituus oli suurin ($1,67 \pm 0,07$ m) ja se erosi tilastollisesti

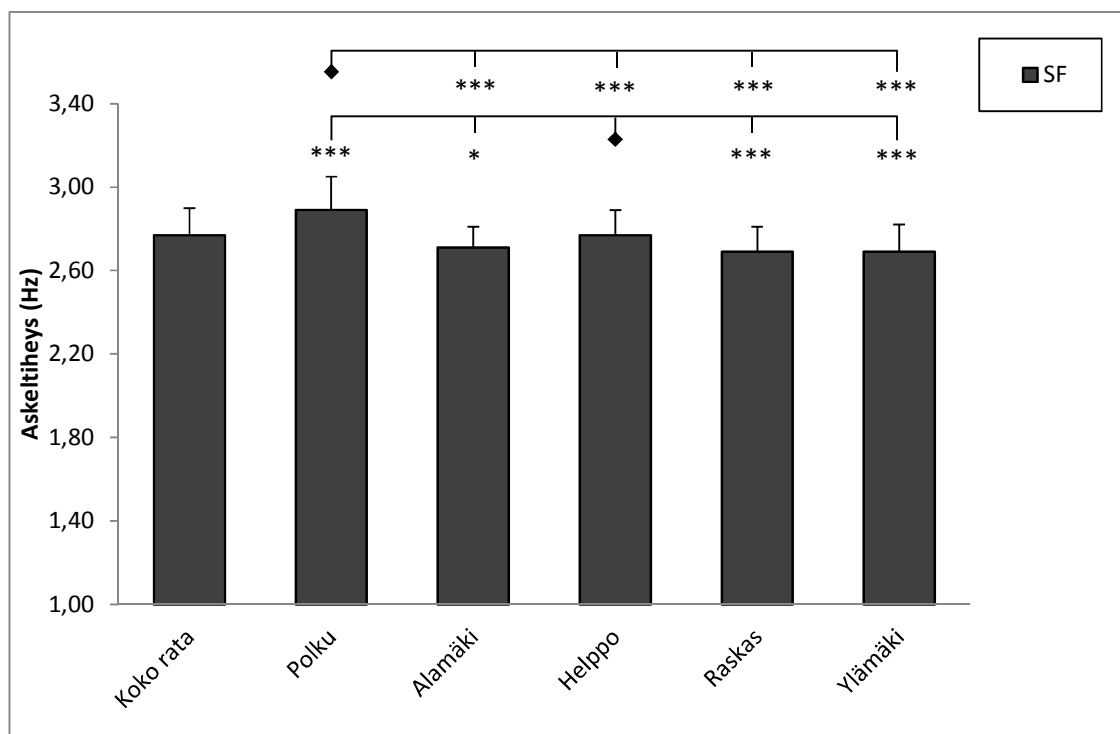
merkitsevästi kaikista muista maastonosista (polku: $1,56 \pm 0,06$ m, $p = 0,003$; helppo: $1,51 \pm 0,04$ m, $p < 0,001$; raskas: $1,37 \pm 0,05$, $p < 0,001$; ylämäki: $1,17 \pm 0,07$ m, $p < 0,001$). Vastaavasti ylämäessä askelpituus oli kaikkia muita maastonosia lyhyempi ($p < 0,001$). Myös erot muiden maastonosien välillä olivat tilastollisesti merkitseviä (polku vs. helppo: $p = 0,008$; polku vs. raskas: $p < 0,001$; helppo vs. raskas: $p < 0,001$). Askelpituudet eri maastonosissa sekä koko radalla keskimäärin on esitetty kuvassa 7.



KUVA 7. Askelpituus maksimaalisessa suunnistusjuoksuosuorituksessa koko radan keskiarvona sekä eri maastonosissa. ** = tilastollisesti merkitsevä ero maastonosien välillä ($p < 0,01$); *** = tilastollisesti merkitsevä ero maastonosien välillä ($p < 0,001$).

Askeltiheys. Maksimaalisen suunnistusjuoksuosuorituksen askeltiheys oli koko radalla $2,77 \pm 0,13$ Hz ja eri maastonosissa askeltiheudet olivat $2,69 - 2,89$ Hz. Askeltiheys oli suurin polulla ($2,89 \pm 0,16$ Hz) ja ero muihin maastonsiin oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,001$). Myös helppokulkuisessa maastossa askeltiheys ($2,77 \pm 0,12$ Hz) oli suurempi kuin alamäes-

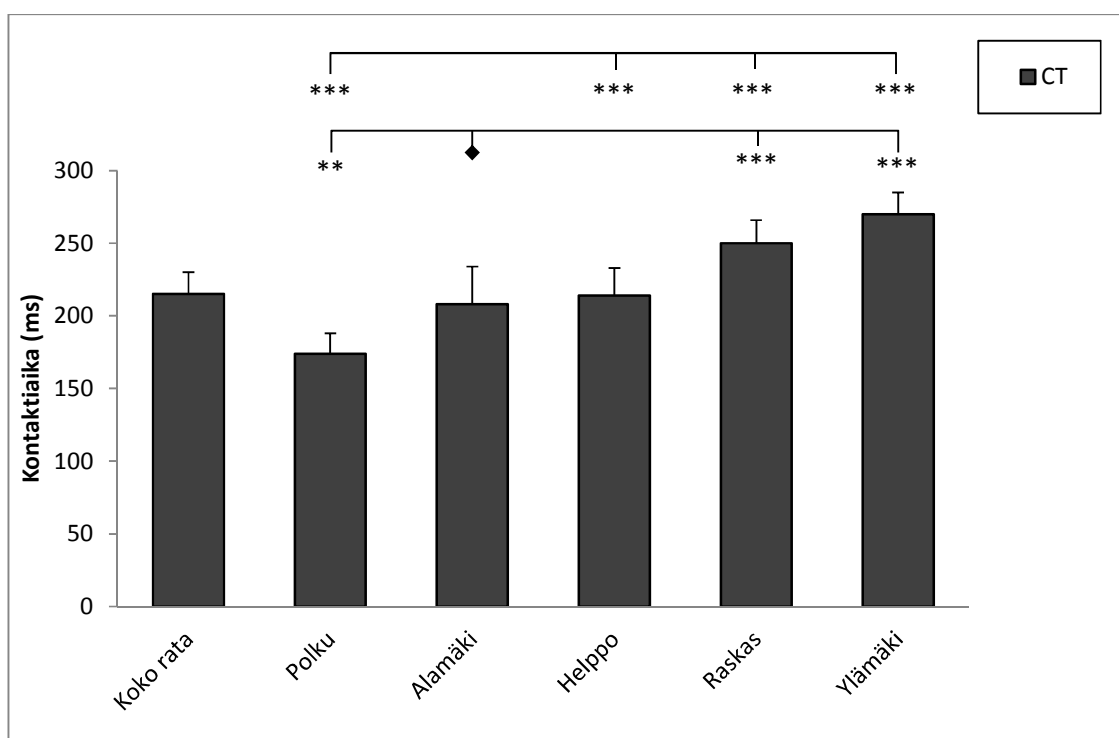
sä ($2,71 \pm 0,10$ Hz, $p = 0,015$), raskaassa maastossa ($2,69 \pm 0,12$, $p < 0,001$) sekä ylämä-
essä ($2,69 \pm 0,13$, $p < 0,001$). Sen sijaan ala- ja ylämäen sekä raskaan maaston välillä askel-
tiheydessä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Askeltiheys eri maastonosissa on esitetty
kuvassa 8.



KUVA 8. Askeltiheys maksimaalisessa suunnistusjuoksuosuorituksessa koko radan keskiarvona sekä eri maastonosissa. * = tilastollisesti merkitsevä ero maastonosien välillä ($p < 0,05$); *** = tilastolli-
sesti merkitsevä ero maastonosien välillä ($p < 0,001$).

Kontaktiaika. Keskimääräinen kontaktiaika maksimaalisessa suunnistusjuoksuosuorituksessa oli 215 ± 15 ms. Eri maastonosissa kontaktiaika vaihteli 174 ms ja 270 ms välillä. Kontakti-
aika oli polulla (174 ± 14 ms) lyhyempi kuin muissa maastonosissa (alamäki: 208 ± 26 ms, $p = 0,002$; helppo: 214 ± 19 ms, $p < 0,001$; raskas: 250 ± 16 ms, $p < 0,001$; ylämäki: 270 ± 15 ms, $p < 0,001$). Alamäen ja helppokulkuisen maaston välillä kontaktiajat eivät eronnet
toisistaan, mutta alamäessä kontaktiaika oli kuitenkin lyhyempi kuin raskaassa maastossa ja

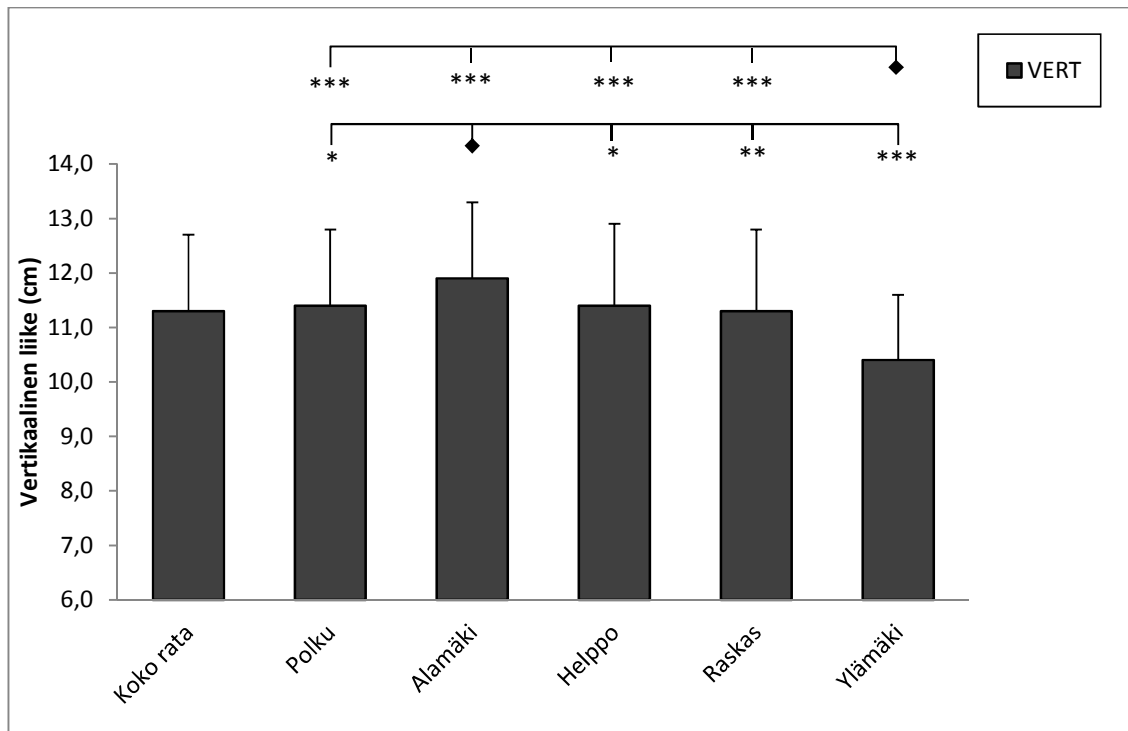
ylämässä ($p < 0,001$). Vastaavasti erot helppokulkuisen maaston, raskaan maaston ja ylämäen välillä olivat tilastollisesti merkitseviä ($p < 0,001$). Kuvassa 9 on esitetty kontaktiajat eri maastonosissa ja koko radalla.



KUVA 9. Kontaktiaika maksimaalisessa suunnistusjuoksuosuutuksessa koko radan keskiarvona sekä eri maastonosissa. ** = tilastollisesti merkitsevä ero maastonosien välillä ($p < 0,01$); *** = tilastollisesti merkitsevä ero maastonosien välillä ($p < 0,001$).

Kehon massakeskipisteen vertikaalinen liike. Maksimaalisessa suunnistusjuoksuosuutuksessa vertikaalinen liike oli keskimäärin $11,3 \pm 1,4$ cm. Ylämäessä vertikaalinen liike ($10,4 \pm 1,2$ cm) oli tilastollisesti merkitsevästi pienempää kuin kaikissa muissa maastonosissa ($p < 0,001$). Vastaavasti alamäessä vertikaalinen liike oli suurinta ($11,9 \pm 1,4$ cm) ja ero muihin maastonosiin oli merkitsevä (polku: $11,3 \pm 1,4$ cm, $p = 0,011$; helppo: $11,4 \pm 1,5$ cm, $p = 0,013$; raskas: $11,3 \pm 1,5$ cm, $p = 0,002$). Erot polun ja helppokulkuisen sekä raskaan maas-

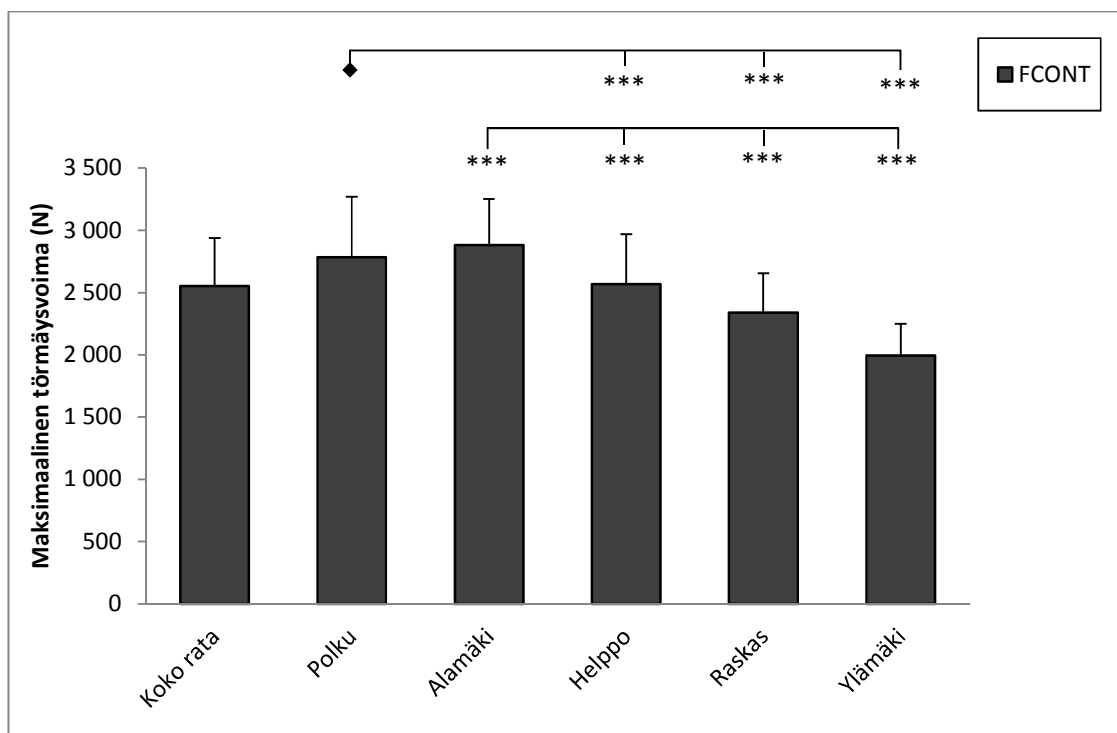
ton välillä taas eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Vertikaalinen liike eri maastonosissa ja koko radalla on esitetty kuvassa 10.



KUVA 10. Kehon massakeskipisteen vertikaalinen liike maksimaalisessa suunnistusjuoksuosorituksessa koko radan keskiarvona sekä eri maastonosissa. * = tilastollisesti merkitsevä ero maastonosien välillä ($p < 0,05$); ** = tilastollisesti merkitsevä ero maastonosien välillä ($p < 0,01$); *** = tilastollisesti merkitsevä ero maastonosien välillä ($p < 0,001$).

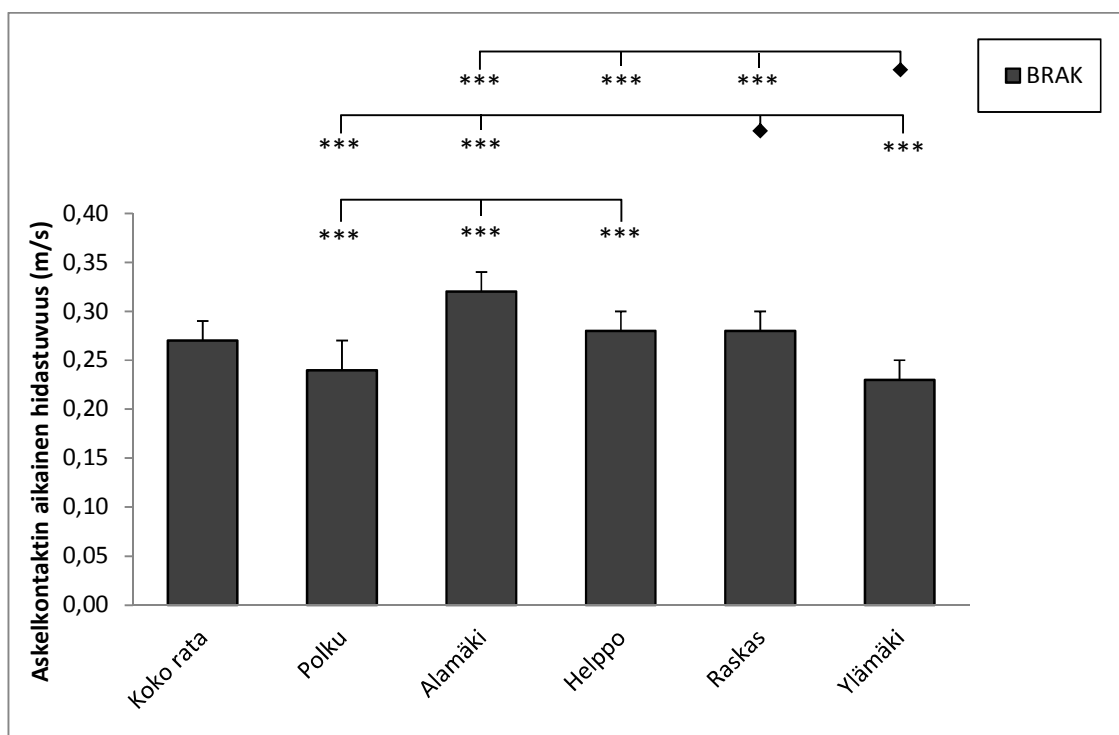
Maksimaalinen törmäysvoima. Maksimaalinen törmäysvoima oli koko radalla keskimäärin 2553 ± 384 N ja vaihtelu eri maastonosien välillä oli $1994 - 2882$ N. Polulla ja alamäessä maksimaaliset törmäysvoimat olivat suurimmat (2785 ± 484 N ja 2882 ± 371 N), eikä ero näiden välillä ollut tilastollisesti merkitsevä. Sen sijaan ero kaikkiin muihin maastosiin oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,001$). Myös helppokulkuisessa maastossa (2566 ± 403 N), raskaassa maastossa (2339 ± 315 N) ja ylämäessä (1994 ± 254 N) törmäysvoimat erosivat

toisistaan ($p < 0,001$). Kuvassa 11 on esitetty maksimaalinen törmäysvoima eri maastonosissa ja koko radalla.



KUVA 11. Maksimaalinen törmäysvoima maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa koko radan keskiarvona sekä eri maastonosissa. *** = tilastollisesti merkitsevä ero maastonosien välillä ($p < 0,001$).

Askelkontaktin aikainen hidastuvuus. Maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa askelkontaktin aikainen hidastuvuus oli keskimäärin $0,27 \pm 0,02$ m/s. Hidastuvuus oli pienintä polulla ja ylämäessä ($0,24 \pm 0,03$ m/s ja $0,23 \pm 0,02$ m/s), eikä näiden välillä ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Ero kaikkiin muihin maastonosiin oli sen sijaan merkitsevä ($p < 0,001$). Vastaavasti alamäessä hidastuvuus ($0,32 \pm 0,02$ m/s) oli suurempaa kuin kaikissa muissa maastonosissa ($p < 0,001$). Helppokulkuisen ($0,28 \pm 0,02$ m/s) ja raskaan maaston ($0,28 \pm 0,02$ m/s) välillä askelkontaktin aikaisessa hidastuvuudessa ei ollut eroja. Kuvassa 12 on esitetty askelkontaktin aikainen hidastuvuus eri maastonosissa ja koko radalla.



KUVA 12. Askelkontaktin aikainen hidastuvuus maksimaalisessa suunnistusjuoksuosuudessa koko radan keskiarvona sekä eri maastonosissa. *** = tilastollisesti merkitsevä ero maastonosien välillä ($p < 0,001$).

5.3 Askelmuuttujat eri juoksunopeuksilla

Askelmuuttujien erot submaksimaalisen ja maksimaalisen suunnistusjuoksuosuituksen välillä on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Askelmuuttajat submaksimaalisessa (s) ja maksimaalisessa suunnistusjuoksu-suorituksessa (m) koko radan keskiarvona sekä eri maastonosissa. * = tilastollisesti merkitsevä ero submaksimaaliseen suoritukseen nähden ($p < 0,05$); ** = tilastollisesti merkitsevä ero submaksimaaliseen suoritukseen nähden ($p < 0,01$); *** = tilastollisesti merkitsevä ero submaksimaaliseen suoritukseen nähden ($p < 0,001$).

		Koko rata	Polku	Alamäki	Helppo	Raskas	Ylämäki
SL (m)	s	1,38±0,05	1,51±0,07	1,61±0,09	1,38±0,06	1,28±0,05	1,03±0,06
	m	1,48±0,05***	1,56±0,06*	1,67±0,07**	1,51±0,04***	1,37±0,05**	1,17±0,07**
SF (Hz)	s	2,73±0,12	2,87±0,14	2,72±0,09	2,73±0,13	2,65±0,11	2,61±0,14
	m	2,77±0,13**	2,89±0,16	2,71±0,10	2,77±0,12**	2,69±0,12**	2,69±0,13**
CT (ms)	s	231±19	179±16	212±23	236±22	267±24	295±28
	m	215±15***	174±14	208±26	214±19***	250±16**	270±15**
VERT (cm)	s	10,7±1,1	10,6±1,0	11,1±1,1	10,8±1,2	10,8±1,2	9,7±1,0
	m	11,3±1,4*	11,4±1,4*	11,9±1,4*	11,4±1,5	11,3±1,5	10,4±1,2*
FCONT (N)	s	2230±244	2375±298	2620±282	2250±250	2097±222	1740±161
	m	2553±384**	2785±484**	2882±371**	2566±403**	2339±315**	1994±254**
BRAK (m/s)	s	0,30±0,06	0,29±0,05	0,35±0,05	0,31±0,07	0,31±0,06	0,26±0,05
	m	0,27±0,02	0,24±0,03**	0,32±0,02	0,28±0,02	0,28±0,02	0,23±0,02

Askelpituus. Askelpituus oli submaksimaalisessa suunnistusjuoksu-suorituksessa tilastollisesti merkitsevästi pienempi kuin maksimaalisessa suorituksessa koko radalla ($1,38 \pm 0,05$ m vs. $1,48 \pm 0,05$ m, $p < 0,001$) sekä kaikissa maastonosissa (polku: $1,51 \pm 0,07$ m vs. $1,56 \pm 0,06$ m, $p = 0,023$; alamäki: $1,61 \pm 0,09$ m vs. $1,67 \pm 0,07$ m, $p = 0,004$; helppo: $1,38 \pm 0,06$ m vs. $1,51 \pm 0,04$ m, $p < 0,001$; raskas: $1,28 \pm 0,05$ m vs. $1,37 \pm 0,05$ m, $p = 0,001$; ylämäki: $1,03 \pm 0,06$ m vs. $1,17 \pm 0,07$ m, $p = 0,001$). Askelpituuden muutos submaksimaalisen ja maksimaalisen suunnistusjuoksu-suorituksen välillä koko radan osalta on esitetty kuvassa 13.

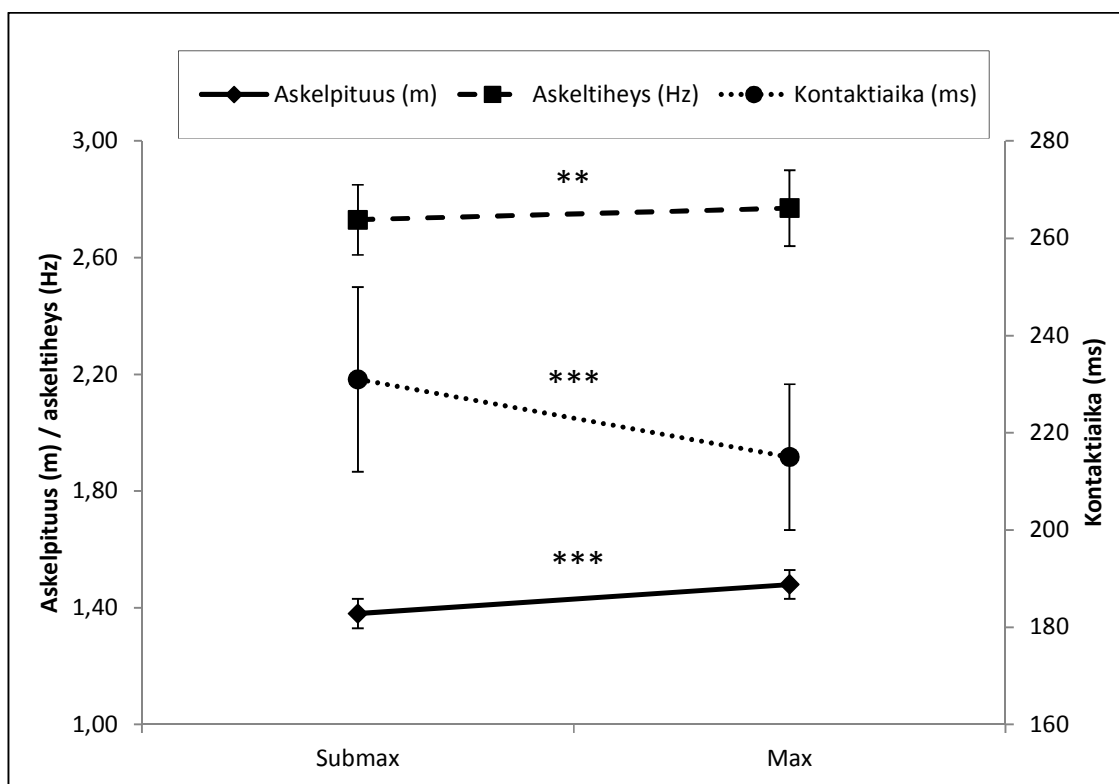
Askeltiheys. Submaksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen askeltiheys oli tilastollisesti merkitsevästi maksimaalisen suorituksen askeltiheyttä pienempi koko radalla ($2,73 \pm 0,12$ Hz vs. $2,77 \pm 0,13$ Hz, $p = 0,008$). Maastonosittain tarkasteltuna askeltiheys kasvoi submaksimaalisen ja maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen välillä tilastollisesti merkitsevästi helppokulkuisessa maastossa ($2,73 \pm 0,13$ Hz vs. $2,77 \pm 0,12$ Hz, $p = 0,005$), raskaassa maastossa ($2,65 \pm 0,11$ Hz vs. $2,69 \pm 0,12$ Hz, $p = 0,008$) sekä ylämäessä ($2,61 \pm 0,14$ Hz vs. $2,69 \pm 0,13$ Hz, $p = 0,005$). Sen sijaan polulla ja alamäessä askeltiheydessä ei tapahtunut muutosta submaksimaalisen ja maksimaalisen suorituksen välillä. Askeltiheyden erot submaksimaalisen ja maksimaalisen suorituksen välillä koko radan osalta on esitetty kuvassa 13.

Kontaktiaika. Koko radan keskimääräinen kontaktiaika oli submaksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin maksimaalisessa suorituksessa (231 ± 19 ms vs. 215 ± 15 ms, $p < 0,001$). Myös helppokulkuisessa maastossa (236 ± 22 ms vs. 214 ± 19 ms, $p < 0,001$), raskaassa maastossa (267 ± 24 ms vs. 250 ± 16 ms, $p = 0,001$) sekä ylämäessä (295 ± 28 ms vs. 270 ± 15 ms, $p = 0,006$) kontaktiaika lyheni submaksimaalisen ja maksimaalisen suorituksen välillä. Polulla ja alamäessä erot submaksimaalisen ja maksimaalisen suorituksen välillä eivät olleet merkitseviä. Kontaktiaikojen muutos koko radalla submaksimaalisen ja maksimaalisen suorituksen välillä on esitetty kuvassa 13.

Kehon massakeskipisteen vertikaalinen liike. Vertikaalinen liike kasvoi tilastollisesti merkitsevästi submaksimaalisen ja maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen välillä koko radalla ($10,7 \pm 1,1$ cm vs. $11,3 \pm 1,4$ cm, $p = 0,041$). Vastaavasti polulla ($10,6 \pm 1,0$ cm vs. $11,4 \pm 1,4$ cm, $p = 0,042$), alamäessä ($11,1 \pm 1,1$ cm vs. $11,9 \pm 1,4$ cm, $p = 0,024$) sekä ylämäessä ($9,7 \pm 1,0$ cm vs. $10,4 \pm 1,2$ cm, $p = 0,020$) vertikaalinen liike oli submaksimaalisessa suorituksessa pienempi kuin maksimaalisessa suorituksessa. Helppokulkuisessa ja raskaassa maastossa submaksimaalisen ja maksimaalisen suorituksen välillä ei sen sijaan ollut tilastollisesti merkitsevää eroa.

Maksimaalinen törmäysvoima. Submaksimaalisessa suorituksessa maksimaalinen törmäysvoima oli koko radan osalta pienempi kuin maksimaalisessa suorituksessa (2230 ± 244 N vs. 2553 ± 384 N, $p = 0,001$). Myös kaikissa maastonosissa törmäysvoima kasvoi submaksimaalisen ja maksimaalisen suorituksen välillä tilastollisesti merkitsevästi (polku: 2375 ± 298 N vs. 2785 ± 484 N, $p = 0,001$; alamäki: 2620 ± 282 N vs. 2882 ± 371 N, $p = 0,001$; helppo: 2250 ± 250 N vs. 2566 ± 403 N, $p = 0,001$; raskas: 2097 ± 222 N vs. 2339 ± 315 N, $p = 0,001$; ylämäki: 1740 ± 161 N vs. 1994 ± 254 N, $p = 0,001$).

Askelkontaktin aikainen hidastuvuus. Koko radan keskimääräinen askelkontaktin aikainen hidastuvuus ei muuttunut tilastollisesti merkitsevästi submaksimaalisen ja maksimaalisen suorituksen välillä. Vastaavasti maastonosista ainoastaan polulla hidastuvuus oli submaksimaalisessa suorituksessa suurempi kuin maksimaalisessa suorituksessa ($0,29 \pm 0,05$ m/s vs. $0,24 \pm 0,03$ m/s, $p = 0,007$). Muissa maastonosissa erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.



KUVA 13. Askelpituuden, askeltiheyden sekä kontaktiajan muutokset submaksimaalisen ja maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen välillä. ** = tilastollisesti merkitsevä ero submaksimaalisen ja maksimaalisen suorituksen välillä ($p < 0,01$); *** = tilastollisesti merkitsevä ero submaksimaalisen ja maksimaalisen suorituksen välillä ($p < 0,001$).

6 POHDINTA

Päätulokset. Suunnistusjuoksusuorituksen nopeus vaihteli tässä tutkimuksessa maaston juostavuuden mukaan. Askelmuuttujista taas erityisesti askelpituus vaihteli maastonosien välillä, minkä lisäksi myös kontaktaijassa sekä maksimaalisessa törmäysvoimassa erot maastonosien välillä olivat selkeitä. Sen sijaan askeltiheys, kehon massakeskipisteen vertikaalinen liike ja askelkontaktin aikainen hidastuvuus eivät muuttuneet yhtä selkeästi maaston juostavuuden mukaan.

Juoksunopeuden kasvun myötä selkeimmät muutokset tapahtuivat askelpituudessa ja maksimaalisessa törmäysvoimassa, minkä lisäksi myös askeltiheys, kontaktaijat sekä kehon massakeskipisteen vertikaalinen liike muuttuivat lähes kaikissa maastonosissa nopeuden muuttuessa. Sen sijaan askelkontaktin aikaisessa hidastuvuudessa ei tapahtunut muutoksia polkua lukuun ottamatta missään maastonosassa.

Suunnistusjuoksusuorituksen intensiteetti. Submaksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa sekä syke että veren laktaattipitoisuus olivat aerobisen kynnyksen ja anaerobisen kynnyksen välissä. Maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen intensiteetti taas oli sykkeen perusteella anaerobisen kynnyksen tasolla, mutta veren laktaattipitoisuus oli selvästi anaerobisen kynnyksen yläpuolella. Myös muissa tutkimuksissa syke- ja laktaattitasot ovat olleet suunnistusjuoksussa samaa luokkaa (Gjerset ym. 1997; Moser ym. 1995; Nivukoski 2006). Suunnistusjuoksusuorituksen syketasoon nähden korkeaa veren laktaattipitoisuutta on selitetty suurella aktiivisen lihasmassan määrällä (Kärkkäinen 1986), minkä lisäksi myös vaihtelevasta maastosta johtuvien lyhyiden kovatehoisten osioiden suorituksen aikana on raportoitu nostavan laktaattipitoisuuksia suunnistusjuoksussa (Smekal ym. 2003).

Koko suunnistusjuoksuradan keskimääräinen juoksunopeus kasvoi submaksimaalisen ja maksimaalisen suorituksen välillä 8,8 % ja maastonosittain tarkasteltuna nopeus kasvoi pollulla 3,8 %, alamäessä 5,1 %, helppokulkuisessa maastossa 11,8 %, raskaassa maastossa 9,0

% ja ylämäessä 16,5 %. Maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa nopeus oli suurin polulla ja alamäessä, joiden välinen ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Polkujuoksuun verrattuna nopeus putosi helppokulkuisessa maastossa 6,7 %, raskaassa maastossa 18,4 % ja ylämäessä 30,7 %. Maaston juostavuudella ja erityisesti korkeuseroilla näyttää siis olevan suuri merkitys suunnistusjuoksunopeuteen, mikä on huomioitava suunnistussuorituksessa reitinvalinnassa.

Askelmuuttujien muutokset maastonosien välillä. Maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa askelpituus oli keskimäärin $1,48 \pm 0,05$ m ja maastonosien välillä askelpituus vaihteli 1,17 m ja 1,67 m välillä. Vastaavasti Havaksen (1989) tutkimuksessa askelpituuden vaihteluväli eri maastonosissa oli 0,90 – 1,45 m. Tässä tutkimuksessa maaston juostavuus oli raskasta maastoa lukuun ottamatta hyvä, mikä selittää hieman suurempia askelpituuksia Havaksen (1989) tuloksiin nähden. Askelpituus oli luonnollisesti suurin alamäessä ja vastaavasti pienin ylämäessä. Myös Havas (1989) havaitsi ylämäen vaikuttavan askelpituuteen huomattavasti, kun taas maaston kulkukelpoisuuden ei kyseisessä tutkimuksessa raportoitu vaikuttavan askelpituuteen. Toisaalta tässä tutkimuksessa askelpituudessa oli tilastollisesti merkitsevä ero myös polun sekä helppokulkuisen ja raskaan maaston välillä, joten askelpituuden muutokset olivat suurelta osin linjassa maastonosien välisten nopeuserojen kanssa.

Askeltiheys vaihteli maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa 2,69 Hz ja 2,89 Hz välillä koko radan keskiarvon ollessa $2,77 \pm 0,13$ Hz. Askelpituuden tavoin myös askeltiheys vastasi melko hyvin Havaksen (1989) mittaamia 2,60 – 2,90 Hz arvoja. Askeltiheyden kohdalla maaston kulkukelpoisuus näyttää olevan rajoittava tekijä, sillä askeltiheys oli suurin polulla ja myös helppokulkuisessa maastossa suurempi kuin raskaassa maastossa sekä ala- ja ylämäessä. Vastaavasti Havas (1989) totesi maaston juostavuuden vaikuttavan askeltiheyden korkeuseroja enemmän.

Haastava maastopohja ja runsas aluskasvillisuus siis todennäköisesti suosivat pitkää askelusta, jolloin askeltiheys jää matalaksi. Toisaalta maastopohjan esteiden myötä askeltihey-

den kasvattaminen tietyn rajan yli voi myös olla hyvin vaikeaa. Maastopohjan vaikutus näkyy erityisesti alamäessä, joka oli tässä tutkimuksessa varvikkoinen, mutta kuitenkin riittävän loiva mahdollistaakseen suuren etenemisnopeuden ja askelpituuden. Pitkä askellus helpottaa etenemistä runsaassa aluskasvillisuudessa, jolloin askelstiheys taas jää matalaksi.

Kontaktiaika oli maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa keskimäärin 215 ± 15 ms ja eri maastonosissa 174 – 270 ms, eli melko lähellä Havaksen (1989) mittaamia 200 – 270 ms kontaktiaikoja. Kontaktiajan vaihtelut maastonosien välillä vastasivat askelpituuden tavoin melko hyvin juoksunopeuden vaihteluja, sillä kontaktiaika oli lyhin tiellä ja pisin ylämäessä. Alamäen ja helppokulkuisen maaston välillä kontaktiajoissa ei ollut eroja, mutta kummassakin kontaktit olivat lyhyempiä kuin raskaassa maastossa. Myös Havaksen (1989) tutkimuksessa havaittiin kontaktin olevan ylämäessä pisin, mitä selittävät askeleen huono rullaavuus ja toisaalta suuri voimantuoton tarve. Vastaavasti raskas maasto oli tässä tutkimuksessa alustaltaan hyvin pehmeä ja soistuva, mikä vaikeuttaa voimantuottoa ja siten kasvattaa kontaktiaikaa. Polulla taas kova ja tasainen alusta näkyy lyhyenä kontaktina.

Kehon massakeskipisteen vertikaalisen liikkeen suuruus oli maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa keskimäärin $11,3 \pm 1,4$ cm ja eri maastonosissa 10,4 – 11,9 cm. Vertikaalisessa liikkeessä maaston kaltevuuden vaikutukset korostuvat, sillä ylämäessä vertikaalinen liike oli muita maastonosia pienempää ja alamäessä taas suurempaa kuin muissa maastonosissa. Sen sijaan tasaisella alustalla juostessa maaston kulkukelpoisuus ei näytä vaikuttavan vertikaalisen liikkeen määrään, sillä erot polun, helppokulkuisen maaston ja raskaan maaston välillä eivät olleet merkitseviä. Todennäköisesti vertikaalisen liikkeen suuruus perustuu yksilölliseen juoksutekniikkaan ja siten sen vaihtelut maaston kulkukelpoisuuden mukaan eivät ole suuria. Ratajuoksussa suuren vertikaalisen liikkeen on todettu olevan taloudellisuuden kannalta haitallista (Heise & Martin 2001), mutta suunnistusjuoksun osalta yhteydet taloudellisuuteen saattavat erota ratajuoksusta, sillä maaston esteiden ylittäminen vaatii korkeahkoa askellusta.

Maksimaalisen törmäysvoiman suuruus oli maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa koko radalla 2553 ± 384 N ja eri maastonosissa 1994 – 2882 N. Maksimaalisen törmäysvoiman vaihtelu eri maastonosissa mukaili askelpituuden ja kontaktiajan tavoin suurelta osin juoksunopeuden vaihtelua. Törmäysvoimat olivat suurimmat polulla ja alamäessä, mikä selittyy polun osalta kovalla juoksualustalla ja alamäessä taas kaltevuuden myötä korkealta tulevalla askelkontaktilla. Polkujuoksun osalta suuri törmäysvoima ja lyhyt kontaktiaika kertovat juoksun kimmoisuudesta sekä elastisen energian hyödyntämisestä suhteessa muihin maastonosiin, joissa maastopohja on huomattavasti pehmeämpi. Ylämäessä maksimaalinen törmäysvoima oli luonnollisesti pienin, johtuen kaltevuuden aiheuttamista juokstekniikan muutoksista suhteessa tasamaan juoksuun. Vastaavasti raskaan maaston pehmeään juoksualustan myötä törmäysvoima oli kyseisessä maastonosassa helppokulkuista maastoa pienempi.

Askelkontaktin aikainen hidastuvuus oli maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa keskimäärin $0,27 \pm 0,02$ m/s ja eri maastonosissa vaihtelua tapahtui 0,23 m/s ja 0,32 m/s välillä. Hidastuvuus oli suurin alamäessä, jossa pitkän askelluksen sekä maaston kaltevuuden myötä askelkontakti tulee todennäköisesti muita maastonosia selkeämmin kehon massakeskipisteen etupuolelle ja siten aiheuttaa jarrutusta. Ylämäessä taas tilanne on päinvastainen ja siten ylämäessä sekä polulla hidastuvuus oli muita maastonosia pienempää. Polun osalta pieni hidastuvuus selittyy rullaavan askelluksen mahdollistavalla juoksualustalla suhteessa muihin maastonosiin. Helppokulkuisen ja raskaan maaston välillä hidastuvuudessa ei ollut eroja, joten juoksualustan kulkukelpoisuus ei näytä maastossa vaikuttavan suuresti hidastuvuuteen, mikä selittyy askelpituuden ja -tiheyden muutoksilla maastopohjan haastavuuden mukaan.

Askelmuuttujien muutokset juoksunopeuden kasvaessa. Askelpituus kasvoi tilastollisesti merkitsevästi submaksimaalisen ja maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen välillä kaikissa maastonosissa. Muutoksen suuruus oli koko radan osalta 7,2 %, ja eri maastonosissa 3,3 – 13,6 % (polku: 3,3 %; alamäki: 5,2 %; helppo: 9,4 %; raskas: 7,0 %; ylämäki: 13,6 %), joten askelpituuden kasvu näyttää mukailevan suurelta osin juoksunopeuden muutosta sub-

maksimaalisen ja maksimaalisen suorituksen välillä. Ratajuoksussa askelpituuden on havaittu kasvavan juoksunopeuden kasvaessa (Kyröläinen ym. 2001; Nummela ym. 2007) ja vastaavasti Havas (1989) havaitsi askelpituuden kasvavan myös suunnistusjuoksussa juoksunopeuden kasvun myötä.

Askeltiheydessä kasvua tapahtui submaksimaalisen ja maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen välillä koko radalla, helppokulkuisessa maastossa sekä raskaassa maastossa 1,5 % ja ylämäessä 3,1 %. Sen sijaan polulla ja alamäessä tilastollisesti merkitsevää muutosta ei tapahtunut. Askeltiheyden muutokset ovat osittain ristiriitaisia suhteessa Havaksen (1989) havaintoihin, joiden mukaan askeltiheys kasvaa juoksunopeuden kasvun myötä ainoastaan tiellä ja normaalimaastossa, kun taas vaikeakulkuisessa maastossa sekä ylä- ja alamäessä muutokset eivät olleet yhteydessä nopeuden kasvuun. Vastaavasti ratajuoksussa askeltiheyden on todettu kasvavan juoksunopeuden kasvun myötä (Kyröläinen ym. 2001; Nummela ym. 2007).

Todennäköisesti yksilölliset erot juoksutekniikassa selittävät sitä, ettei tässä tutkimuksessa keskimääräinen askeltiheys kasvanut polkujuoksussa nopeuden kasvun myötä. Toisaalta juoksunopeuden kasvu submaksimaalisen ja maksimaalisen suorituksen välillä oli polulla vain 3,8 %, joten on mahdollista, ettei nopeusero ollut riittävän suuri tilastollisesti merkitsevän eron havaitsemiseksi askeltiheyden kohdalla. Muiden maastonosien suhteen erot Havaksen (1989) tuloksiin taas saattavat johtua pääosin maastonosien eroista tutkimusten välillä, sillä esimerkiksi maaston kulkukelpoisuuden määrittäminen hyväksi tai huonoksi voi vaihdella suuresti maastotyypistä riippuen.

Kontaktiaika lyheni submaksimaalisen ja maksimaalisen suorituksen välillä askeltiheyden muutosten tavoin koko radalla, helppokulkuisessa ja raskaassa maastossa sekä ylämäessä. Muutoksen suuruus oli koko radalla 6,9 %, helppokulkuisessa maastossa 9,3 %, raskaassa maastossa 6,4 % ja ylämäessä 8,5 %. Havaksen (1989) tutkimuksessa kontaktiajan todettiin lyhenevän nopeuden kasvun myötä kaikissa maastonosissa ja vastaavasti ratajuoksussa Kyröläinen ym. (2001) sekä Nummela ym. (2007) havaitsivat kontaktiajan lyhenevän nopeu-

den kasvaessa. Kontaktiajan muuttumattomuus polkujuoksussa viittaa askeltiheyden ta-
voin siihen, että juoksunopeuden muutos submaksimaalisen ja maksimaalisen suorituksen
välillä oli polulla niin pieni, ettei kontaktiajassa tai askeltiheydessä havaittu muutoksia. Li-
säksi Nummela ym. (2007) totesivat, että kontaktiajan lyheneminen osaltaan mahdollistaa
askeltiheyden kasvun juoksunopeuden kasvaessa.

Vertikaalinen liike kasvoi submaksimaalisen ja maksimaalisen suorituksen välillä koko ra-
dalla 5,6 % ja maastonosittain tarkasteltuna polulla 7,5 % ja alamäessä sekä ylämäessä 7,2
%. Helppokulkuisessa ja raskaassa maastossa tilastollisesti merkitsevää muutosta taas ei
tapahtunut. Vertikaalisen liikkeen muutokset pohjautuvat todennäköisesti askelpituuden ja -
tiheyden muutoksiin, sillä askelpituus kasvoi nopeuden kasvaessa kaikissa maastonosissa,
kun taas askeltiheyden kohdalla kasvua tapahtui vain helppokulkuisessa ja raskaassa maas-
tossa sekä ylämäessä. Polulla ja alamäessä siis nopeuden kasvu perustui lähinnä askelpituu-
den kasvuun, jolloin myös vertikaalinen liike näytti kasvavan. Ylämäessä taas vertikaalisen
liikkeen kasvu johtunee pääosin voimantuoton lisääntymisestä. Vastaavasti helppokulkui-
sessa ja raskaassa maastossa askeltiheys kasvoi nopeuden kasvaessa, mikä todennäköisesti
johti vertikaalisen liikkeen muuttumattomuuteen.

Maksimaalinen törmäysvoima kasvoi submaksimaalisen ja maksimaalisen suorituksen välil-
lä koko radalla 14,4 % ja eri maastonosissa 10,0 – 17,3 % (polku: 17,3 %; alamäki: 10,0%;
helppo: 14,0 %; raskas: 11,5 %; ylämäki: 14,6 %). Törmäysvoima kuvaa askelkontaktin
aikana juoksijaan kohdistuvaa iskua ja siten muun muassa askelpituuden kasvu sekä kontak-
tiajan lyheneminen näkyvät törmäysvoiman kasvuna ja juoksun jäykkyyden lisääntymisenä.
Vastaavasti Kyröläinen ym. (2001) havaitsivat kontaktivoimien kasvavan sekä horisontaali-
sessa että vertikaalisessa suunnassa juoksunopeuden kasvun myötä.

Askelkontaktin aikainen juoksunopeuden hidastuvuus ei muuttunut submaksimaalisen ja
maksimaalisen suorituksen välillä koko radalla ja maastonosien kohdalla ainoa muutos oli
hidastuvuuden pieneneminen polulla 17,2 %. Polulla siis askelluksen rullaavuus näyttää

parantuvan nopeuden kasvaessa, kun taas muissa maastonosissa selkeää muutosta ei tässä suhteessa tapahdu nopeuden kasvun myötä.

Yhteenveto ja johtopäätökset. Maksimaalisessa suunnistusjuoksusuorituksessa syke oli anaerobisen kynnyksen tasolla ja veren laktaattipitoisuus taas selvästi anaerobisen kynnyksen yläpuolella. Juoksunopeus vaihteli suorituksessa maastonosien kulkukelpoisuuden ja korkeuserojen mukaan siten, että nopeus oli suurin polulla ja alamäessä, kun taas ylämäessä nopeus oli muita maastonosia matalampi. Submaksimaalisen ja maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen välillä nopeus kasvoi kaikissa maastonosissa.

Askelpituuden erot maastonosien välillä noudattivat suurelta osin maastonosien välisiä nopeuseroja, eli nopeimmissa maastonosissa askelpituus oli suurin ja vastaavasti hitaimmissa maastonosissa lyhyin. Myös kontaktiajat ja maksimaalinen törmäysvoima vaihtelivat eri maastonosissa pääsääntöisesti juoksunopeuden muutosten mukaisesti. Toisaalta kontaktiajoissa ja maksimaalisessa törmäysvoimassa myös maastopohjan pehmeiden vaikutus näkyi selkeästi. Askeltiheyden kohdalla taas maaston kulkukelpoisuuden ja maastopohjan haastavuuden vaikutukset näyttävät korostuvan juoksunopeutta enemmän ja suunnistusjuoksussa askeltiheyttä näyttää olevan vaikeaa nostaa tietyn rajan yli maastopohjan esteiden ja aluskasvillisuuden takia. Vertikaalisessa liikkeessä maaston kulkukelpoisuuden vaikutukset eivät näy selkeästi tasaisissa maastonosissa. Sen sijaan alamäki kasvattaa vertikaalista liikettä huomattavasti ja toisaalta ylämäessä se jää muita maastonosia pienemmäksi. Vastaavasti korkeuserojen vaikutukset näkyvät myös askelkontaktin aikaisen hidastuvuuden kohdalla.

Submaksimaalisen ja maksimaalisen suunnistusjuoksusuorituksen välillä askelpituus sekä maksimaalinen törmäysvoima kasvoivat kaikissa maastonosissa, mikä kertoo voimantuoton kasvusta juoksunopeuden kasvaessa. Vastaavasti askeltiheys kasvoi ja kontaktiajat lyhenivät koko radalla, helppokulkuisessa ja raskaassa maastossa sekä ylämäessä. Muutosten esiintyminen samoissa maastonosissa viittaa siihen, että kontaktiajan lyheneminen osaltaan mahdollistaa suuremman askeltiheyden juoksunopeuden kasvaessa. Vertikaalisen liikkeen muutokset submaksimaalisen ja maksimaalisen suorituksen välillä mukailivat askelpituuden ja -

tiheyden muutoksia ja askelkontaktin aikaisessa hidastuvuudessa taas muutokset juoksu-
nopeuden kasvaessa olivat hyvin vähäisiä.

Tulevaisuudessa olisi mielenkiintoista saada lisätietoa eri askelmuuttujien ja erityisesti kon-
taktivoimien käyttäytymisestä eri maastonosissa suunnistusjuoksuosuorituksessa. Myös as-
kelmuuttujien tutkiminen eri maastotyypeissä, kuten kalliomaastossa tai suomaastoissa voisi
antaa hyödyllistä lisätietoa suunnistusjuoksun biomekaniikasta. Lisäksi askelmuuttujien
tutkiminen suunnistussuorituksen aikana mahdollistaisi kartanluvun ja taidollisten haastei-
den vaikutusten tutkimisen.

Tässä tutkimuksessa askelmuuttujia tutkittiin vain kahdella eri juoksunopeudella, jotka mo-
lemmat olivat intensiteetiltään melko korkeita. Useamman juoksunopeuden käyttäminen
voisi tarjota lisätietoa juokсутekniikan muutoksista ja maaston aiheuttamista haasteista eri
askelmuuttujien kohdalla. Lisäksi tarkempi vertailu esimerkiksi maksimaalisen ratajuoksun
askelmuuttujiin voisi selkeyttää kuvaa suunnistusjuoksun ja ratajuoksun biomekaniikan
eroista.

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

- 1) Maksimaalisessa suunnistusjuoksuosuorituksessa juoksunopeus vaihtelee maaston kulku-
kelpoisuuden sekä korkeuserojen mukaisesti.
- 2) Askelpituus, kontaktiaika sekä maksimaalinen törmäysvoima vaihtelevat suunnistusjuok-
suosuorituksessa pääosin maastonosien välisten nopeuserojen mukaisesti, kun taas vertikaali-
nen liike ja askelkontaktin aikainen hidastuvuus vaihtelevat selkeimmin maaston korkeus-
erojen mukaan.
- 3) Maaston kulkukelpoisuus ja maastopohjan haastavuus rajoittavat askeltiheyttä suunnis-
tusjuoksuosuorituksessa.

4) Askelpituus ja maksimaalinen törmäysvoima kasvavat suunnistusjuoksusuorituksessa juoksunopeuden kasvun myötä kaikissa maastonosissa ja erityisesti askelpituuden kasvun suuruus mukailee nopeuden muutosta.

5) Askeltiheys kasvu ja kontaktiaikojen lyheneminen juoksunopeuden kasvun myötä mukailivat toisiaan.

7 LÄHTEET

- Bird, S.R., Bailey, R. & Lewis, J. 1993. Heart rates during competitive orienteering. *Br J Sports Med*, 27: 1, 53 – 57.
- Bird, S., George, M., Theakson, S., Balmer, J. & Davison, R.C.R. 2003. Heart rate responses of male orienteers aged 21 – 67 years during competition. *J Sports Sci*, 21, 221 – 228.
- Creagh, U., Reilly, T. & Nevill, A.M. 1998. Heart rate response to “off-road” running events in female athletes. *Br J Sports Med*, 32, 34 – 38.
- Dresel, U. 1985. Lactate acidosis with different stages in the course of a competitive orienteering performance. *Sci. J. orienteering*, 1, 4 – 13.
- Eccles, D. W., Walsh, S. E. & Ingledew, D. K. 2006. Visual attention in orienteers at different levels of experience. *J Sports Sci*, 24: 1, 77 – 87.
- Girard, O., Millet, G.P., Slawinski, J., Racinais, S. & Micallef, J.P. 2013. Changes in running mechanics and spring-mass behaviour during a 5-km time trial. *Int. J. Sports Med*. 34, 832 – 840.
- Gjerset, A., Johansen, E. & Moser, T. 1997. Aerobic and anaerobic demands in short distance orienteering. *Sci J Orienteering*, 13, 4 – 25.
- Havas, E. 1989. Kontaktiajat suunnistusjuoksussa. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Seminaarityö.
- Heise, G.D. & Martin, P.E. 2001. Are variations in running economy in humans associated with ground reaction force characteristics? *Eur J Appl Physiol*, 84, 438 – 442.
- Held, T. & Müller, I. 1997. Endurance capacity in orienteering – new field test vs. laboratory test. *Sci J Orienteering*, 13, 26 – 37.
- Jensen, K., Franch, J., Kärkkäinen, O-P. & Madsen, K. 1994. Field measurement of oxygen uptake in elite orienteers during cross-country running using telemetry. *Scand J Med Sci Sports*, 4, 234 – 238.
- Jensen, K., Johansen, L. & Kärkkäinen, O.P. 1999. Economy in track runners and orienteers during path and terrain running. *Journal of Sports Sciences*, 17, 945 – 950.

- Kyröläinen, H., Belli, A. & Komi, P.V. 2001. Biomechanical factors affecting running economy. *Med Sci Sports Exerc*, 33:8, 1330 – 1337.
- Kärkkäinen, O-P. 1986. Suunnistuksen kilpailusuoritus. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro Gradu -tutkielma.
- Kärkkäinen, O-P. & Pääkkönen, O. 1986. Suunnistusvalmennus. Saarijärven Offset Ky, Saarijärvi.
- Larsson, P., Burlin, L., Jakobsson, E. & Henriksson-Larsén, K. 2002. Analysis of performance in orienteering with treadmill tests and physiological field tests using a differential global positioning system. *J Sports Sci*, 20, 529 – 535.
- Lusa, S. & Lonka, H. 1988. The effects of systematic strength training on the physical performance of orienteers. *Sci J Orienteering*, 4, 56 – 57.
- McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. 2010. Exercise physiology. Nutrition, energy and human performance. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, USA.
- Mero, A. & Rusko, H. 1987. Psychophysiological performance of orienteers in graded and steady state exercise tests. *Sci. J. Orienteering*, 3, 31 – 42.
- Millet, G.Y., Divert, C., Banizette, M. & Morin, J-B. 2010. Changes in running pattern due to fatigue and cognitive load in orienteering. *J Sports Sci*, 28: 2, 153 – 160.
- Moser, T., Gjerset, A., Johansen, E. & Vadder, L. 1995. Aerobic and anaerobic demands in orienteering. *Sci J Orienteering*, 11, 3 – 30.
- Nikulainen, P., Vartiainen, B., Salmi, J., Minkkinen, J., Laaksonen, P. & Inkeri, J. 1995. Suunnistustaito. ER-paino, Lievestuore.
- Nivukoski, J. 2006. Etenemisnopeudet ja sykkeet eritasoisilla suunnistajilla käyttäen satelliittipaikannusta. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro Gradu –tutkielma.
- Nummela, A.T., Heath, K.A., Paavolainen, L.M., Lambert, M.I., St Clair Gibson, A., Rusko, H.K. & Noakes, T.D. 2008. Fatigue during a 5-km running time trial. *Int. J. Sports Med.* 29, 738 – 745.
- Nummela, A., Keränen, T. & Mikkelsen, L.O. 2007. Factors related to top running speed and economy. *Int. J. Sports Med.* 28, 655 – 661.
- Nummela, A.T., Paavolainen, L.M., Sharwood, K.A., Lambert, M.I., Noakes, T.D. &

- Rusko, H.K. 2006. Neuromuscular factors determining 5 km running performance and running economy in well-trained athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 97, 1 – 8.
- Paavolainen, L., Nummela, A., Rusko, H. & Häkkinen, K. 1999a. Neuromuscular characteristics and fatigue during 10 km running. *Int. J. Sports Med.* 20, 1 – 6.
- Paavolainen, L., Nummela, A. & Rusko, H. 1999b. Neuromuscular characteristics and muscle power as determinants of 5-km running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31: 1, 124 – 130.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A. & Rusko, H. 1999c. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J. Appl. Physiol.* 86: 5, 1527 – 1533.
- Rolf, C., Andersson, G., Westblad, P. & Saltin, B. 1997. Aerobic and anaerobic work capacities and leg muscle characteristics in elite orienteers. *Scand J Med Sci Sports*, 7, 20 – 24.
- Saltin, B. & Åstrand, P.O. 1967. Maximal oxygen uptake in athletes. *J. Appl. Physiol.* 23: 3, 353 – 358.
- Santos-Concejero, J., Granados, C., Irazusta, J., Bidaurrezaga-Letona, I., Zabala-Lili, J., Tam, N. & Gil, S.M. 2013. Differences in ground contact time explain the less efficient running economy in North African runners. *Biol. Sport* 30, 181 – 187.
- Smekal, G., Von Duvillard, S.P., Pokan, R., Lang, K., Baron, R., Tschann, H., Hofmann, P. & Bachl, N. 2003. Respiratory gas exchange and lactate measures during competitive orienteering. *Med Sci Sports Exerc*, 35: 4, 682 – 689.
- Støren, Ø., Helgerud, J. & Hoff, J. 2011. Running stride peak forces inversely determines running economy in elite runners. *J. Strength Cond. Res.* 25: 1, 117 – 123.
- Støren, Ø., Helgerud, J., Støa, E.M. & Hoff, J. 2008. Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 40: 6, 1087 – 1092.
- Taini, M. 2005. Mielikuvaharjoittelun vaikutus kilpailuvauhtisen suunnistussuorituksen virheisiin ja suorituksen fyysiseen rasittavuuteen juniorisuunnistajilla. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro Gradu -tutkielma.

- Tammelin, T. 1995. Kestävyyssominaisuudet ja juoksun taloudellisuus juoksumatolla ja maastossa suomalaisilla miessuunnistajilla. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro Gradu -tutkielma.
- Truhponen, M. 2013. Sprinttisuunnistuksen fysiologiset ja voimantuotolliset vaatimukset. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro Gradu -tutkielma.
- Väisänen, M. 2002. Kestävyyden ja voimantuoton yhteydet suunnistusjuoksuun miehillä ja pojilla pohjoismaisessa maastotyypissä. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro Gradu -tutkielma.

Sähköiset lähteet:

International Orienteering Federation. 2014. Foot Orienteering Competition Rules.
<http://orienteering.org/foot-orienteering/rules/>. Viitattu 18.5.2014

LIITTEET

LIITE 1. Suunnistusjuoksuradan kartta.

